

# MEMORIAS CIENTÍFICAS DEL V CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y ACTUALIZACIÓN EN INGENIERÍAS

ISBN: 978-9942-759-18-4





**UNIREMINGTON**<sup>®</sup>  
CORPORACIÓN UNIVERSITARIA  
RES. 2661 MEN JUNIO 21 DE 1996



# Memorias Científicas del V Congreso Internacional de Investigación y Actualización en Ingenierías



Compilador:  
Msc. José Lenin Rogel Villacis

La presente obra fue evaluada por pares académicos Experimentados en el área.

Reservados todos los derechos. Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación, íntegra o parcialmente, por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o por cualquiera otro, sin la autorización previa por escrito al Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador (CIDE).

ISBN: 978-9942-759-18-4

Edición con fines académicos no lucrativos.

Impreso y hecho en Ecuador.

Diseño y Tipografía: Lic. Pedro Naranjo Bajaña.

Fecha de Publicación: 18 de Octubre de 2017.

**CIDE**   
EDITORIAL  
Cod. 9942-8632 

Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador.

Cdla. Martina Mz. 1 V. 4 - Guayaquil, Ecuador.

Tel.: 00593 4 2037524

[http : /www.cidecuador.com](http://www.cidecuador.com)

## **Comité editorial**

Phd. Raúl Hernández Palacios

Dr. Virgilio Cruz Guzmán

PhD. Hebert Gonzalo Rivera



## AUTORES

Andrés Larco  
Ángel Jácome  
Arquímedes Haro  
Arturo Mejía  
Bolívar Edmundo Cabezas Heredia  
Byron Sebastián Almeida Chicaiza  
Camilo Andrés Quiñonez  
Carlos Fernando Chiluisa Cueva  
Carlos Manosalvas García  
Carlos Medina Benalcázar  
Carlos Raúl Barreto Calle  
Carlos Santillán Mariño  
Carlos Velásquez  
Catalina Margarita Verdugo Bernal  
Cecilia Catalina Grunauer Espinoza  
Cristian Javier Arellano Fonseca  
Daniel Icaza Álvarez  
Danny Aguaiza Tenelema  
David García García  
Diego Fernando Mayorga Pérez  
Diego Machado  
Edmundo Cabezas Heredia  
Eduardo García Cabezas  
Edwin Ángel Jácome Domínguez  
Edwin Fernando Viteri Núñez  
Elba María Boderó Poveda  
Enver Rodrigo Quintana Oyos  
Fernanda Sánchez Tenelanda  
Fernando Molina Granja  
Fidel Alonso Romero Toledo  
Fredis Franco Pesantez  
Gabriel Cortéz Núñez  
Gabriel Palacios  
Gary Omar Ampuño Avilez  
Geovanny Uchuari Montoya  
Germán Patricio Torres Guananga  
Giovanny Cuzco Silva  
Guillermo Machado  
Hernán Fabricio Alvarado  
Hernán Patricio Morocho Campos  
Jairo Casco Rosero  
Javier Baque Solís  
Javier Enrique Orna Chávez  
Jessica Tatiana Malla Peña  
Jesús Anaya Díaz  
Jesús Rafael Hechavarría Hernández  
Jhon Paúl Macancela  
Jhonny Orozco Ramos  
Jimmy Stalin Paladines  
John Ignacio Calle Sigüencia  
Jorge Delgado Altamirano  
Jorge Isaías Caicedo Reyes  
José Leonardo Benavides  
Juan Carlos Castro Galeano  
Juan Carlos Lata  
Karla Ortiz  
Lenin Orozco Cantos  
Lenin Santiago Orozco Cantos  
Leticia Vaca-Cárdenas  
Lida Mercedes Barba Maggi  
Lorena Molin  
Luigi Orlando Freire Martínez  
Luis Fernando Arboleda Álvarez  
Luis López Telenchana  
Luis Morales  
Mai Thi Nguyen  
Manuel Aníbal León Segovia  
Marco Aníbal León Segovia  
Marco Vinicio Moreno Rueda  
Marcos A. Ponce Jara  
Mario Raúl Morales  
Mary Chicaiza  
Miguel Duque  
Milagros Fois Lugo  
Nayla Maldonado Bonifáz  
Olga Roa de Rodríguez  
Otto Fernando Balseca Sampedro  
Pablo Sinchiguano Conde  
Pamela Alexandra Buñay Guisña  
Paulina Fernanda Bolaños Logroño  
Paúl Stalin Ricaurte Ortiz  
Paúl Xavier Paguay Soxo  
Ramón Rizo A.  
Robert Gonzalo Piedra Pineda  
Rocío Palma Ramos  
Salvatore Di Gregorio  
Santiago Collantes  
Santiago Leonardo Morales  
Santiago López Ortiz  
Sergio Luján-Mora  
Servio Vinicio Astudillo León  
Sonia Rodas Espinoza  
Tania Karina Berrezueta Espín  
Teresa María Alvarado Espinoza  
Ulises Carofilis Moreira  
Vanessa Almendáriz  
Valeria Lupiano  
Verónica Padilla  
Víctor Manuel Moreno Fiallos  
Yesenia Cevallos

## ÍNDICE

Prólogo.....	8
--------------	---

### **Capítulo I** **Informática y redes**

Implementación de técnicas de gestión en tecnologías de información, para la optimización de los procesos financieros en el Instituto Tecnológico San Gabriel.....	10
Fernando Molina Granja	
Verónica Padilla	
Mary Chicaiza	
Análisis comparativo de herramientas data quality propietario frente a las herramientas de software libre disponibles en el mercado.....	22
Carlos Medina Benalcázar	
Paúl Xavier Paguay Soxo	
Pamela Alexandra Buñay Guisñan	
Metodología para procesos de inteligencia de negocios con mejoras en la extracción y transformación de fuentes de datos.....	30
Santiago Leonardo Morales	
Mario Raúl Morales	
Ramón Rizo A.	
Propuesta de modelo de gobierno de datos para interoperabilidad en Sistemas healthcare.....	37
Jorge Delgado Altamirano	
Estudio para la migración del protocolo IPV4 al protocolo ipv6 en el plenario de la asamblea nacional.....	48
Danny Aguaiza Tenelema	
Ulises Carofilis Moreira	
Carlos Manosalvas García	

### **Capítulo II** **Mecánica automotriz**

Evaluación ergonómica, con métodos owas y rula, caso de estudio: actividades de mantenimiento vehicular pesado.....	60
Luis Morales	
Santiago Collantes	
Gabriel Palacios	

Diseño electro-hidráulico para la automatización de máquina conformadora de ojos u orejas de ballestas automotrices y análisis por medio de elementos finitos a elementos críticos.....	70
John Ignacio Calle Sigüencia Servio Vinicio Astudillo León Hernán Patricio Morocho Campos	
Diseño y construcción de una herramienta neumática para el cambio de amortiguadores de un sistema de suspensión Mac Pherson aplicando métodos del diseño mecánico.....	79
Santiago López Ortiz Pablo Sinchiguano Conde Gabriel Cortez Núñez	
Degradación del acero ASTM A36 por efecto de Termofluencia.....	91
Jorge Isaías Caicedo Reyes Catalina Margarita Verdugo Bernal Otto Fernando Balseca Sampedro	
Incidencia del material particulado, en una planta industrial de producción de material abrasivo.....	106
Diego Fernando Mayorga Pérez Edwin Fernando Viteri Núñez Otto Fernando Balseca Sampedro	
Determinación de retardo simple de lenguaje mediante el algoritmo de codificación de predicción lineal (lpc) implementado en un sistema embebido.....	121
Giovanni Cuzco Silva Nayla Maldonado Bonifáz Geovanny Uchuari Montoya	

**Capítulo III**  
**Energía limpia**

Estudio del potencial eólico en la provincia de Chimborazo a través de estaciones meteorológicas de la ESPOCH.....	132
Lenin Santiago Orozco Cantos Ángel Jácome Edwin Fernando Viteri	
Efecto de la temperatura en las propiedades termo-físicas de crudos pesados.....	149
Otto Fernando Balseca Sampedro Catalina Margarita Verdugo Bernal Jorge Isaías Caicedo Reyes	

El sistema de gestión ISO 50001 como aporte para la obtención de ahorro energético.....	161
Edwin Ángel Jácome Domínguez	
Pablo Sinchiguano	
Lenin Santiago Orozco Cantos	
Dimensionamiento óptimo para pequeños sistemas híbridos aislados, aplicados en las islas Galápagos.....	172
Juan Carlos Lata	
Jhon Paúl Macancela	
Acondicionamiento en un motor a diésel con un sistema Bi-Fuel diésel biogás para el funcionamiento de una bomba de riego en la Hacienda San Francisco.....	180
Carlos Fernando Chiluisa Cueva	
Marco Aníbal León Segovia	
Manuel Ángel León Segovia	
Luigi Orlando Freire Martínez	
Evaluación del potencial energético de la producción de biogás en el relleno sanitario del cantón Salcedo.....	189
Enver Rodrigo Quintana Oyos	
Marco Aníbal León Segovia	
Manuel Ángel León Segovia	
Luigi Orlando Freire Martínez	
Microcentral de reacción química para la generación de electricidad a partir de hidrógeno y oxígeno.....	199
Robert Gonzalo Piedra Pineda	
Cecilia Catalina Grunauer Espinoza	
Gary Omar Ampuño Avilez	
Optimización del balance energético para el sistema eléctrico asilado de la isla San Cristóbal.....	209
Carlos Raúl Barreto Calle	

#### **Capítulo IV**

#### **Ergonomía social**

Metodología ergonómica para la adaptación de puestos de trabajo de personas con discapacidad física en los centros laborales del sector público de la ciudad de Riobamba (2013 2016).....	221
Víctor Manuel Moreno Fiallos	
Bolívar Edmundo Cabezas Heredia	
Marco Vinicio Moreno Rueda	
Caracterización dimensional de modelos constructivos de Vivienda de Interés Social construídos en Guayaquil Ecuador.....	234
Byron Sebastián Almeida Chicaiza	
Jesús Anaya Díaz	
Jesús Rafael Hechavarría Hernández	



Plan Parcial de Intervención como instrumento de acople e inserción del asentamiento informal Monte Sinaí al contexto de Ciudad Urbana.....	250
Milagros Fois Lugo	
Arturo Mejía	
Olga Roa de Rodríguez	

Elaboración e implementación de un traje de protección personal, estación de trabajo, basado en el índice clo, medidas antropométricas y matriz de riesgo en construcciones civiles en la empresa CONALVISA Riobamba.....	262
Edmundo Cabezas Heredia	
Fernando Molina Granja	
Karla Ortiz	

## **Capítulo V**

### **Tecnología e innovación**

Desarrollo de una aplicación móvil interactiva con realidad aumentada, para la enseñanza del lenguaje de señas ecuatoriano en niños de 7 a 12 años de edad.....	278
Germán Patricio Torres Guananga	
Paulina Fernanda Bolaños Logroño	
Cristian Javier Arellano Fonseca	

Redes Eléctricas Inteligentes: el camino hacia el Internet de la energía.....	285
Marcos A. Ponce Jara	
Carlos Velásquez	
Mai Thi Nguyen	

Importancia de la difusión y utilización de contenidos educativos 3D.....	298
Leticia Vaca-Cárdenas	
Diego Machado	
Miguel Duque	

Robot clasificador de metal con poder de discriminación de elementos no metálicos.....	308
Daniel Icaza Álvarez	

Evaluación de aplicaciones educativas para discapacidad intelectual utilizando MARS.....	319
Andrés Larco	
Vanessa Almendáriz	
Sergio Luján-Mora	

Redes neuronales artificiales para estimación de costos de construcción industrial.....	328
Lida Mercedes Barba Maggi	
Elba María Boderó Poveda	

Análisis y diseño de una aeronave no tripulada para uso agrícola.....	338
Javier Enrique Orna Chávez	
Jorge Isaías Caicedo Reyes	
Otto Fernando Balseca Sampedro	
Diseño de prototipos para la reducción en la generación de desechos mediante la reutilización de recursos no biodegradables.....	351
Tania Karina Berrezueta Espín	
Luis López Telenchana	
Variación en el contenido del principio activo en manzanilla y matico.....	363
Arquímedes Haro	
Paul Stalin Ricaurte Ortiz	
Fernando Molina Granja	
Cámara termo retráctil con sistema SCADA y registro de producción autónomo.....	371
Jhonny Orozco Ramos	
Eduardo García Cabezas	
Carlos Santillán Mariño	
Controladores para un brazo robótico Industrial.....	383
Eduardo García Cabezas	
Jhonny Orozco Ramos	
Carlos Santillán Mariño	
Estudio para la implementación de una planta móvil de potabilización y purificación de agua para catástrofes naturales.....	392
Javier Baque Solís	
David García García	
Rocío Palma Ramos	
Efecto de la adición de leche entera sobre las características sensoriales, físico-químicas y rendimiento de queso ricotta elaborado con lactosuero de queso fresco.....	403
Sonia Rodas Espinoza	
Luis Fernando Arboleda Álvarez	
Paúl Stalin Ricaurte Ortiz	
Diseño e implementación de un robot para guía de actividades lúdicas en niños de 1 y 3 años.....	409
Giovanny Cuzco Silva	
Fernanda Sánchez Tenelanda	
Jairo Casco Rosero	
Mantenimiento del transformador de potencia empleando métodos predictivos y preventivos.....	420
Juan Carlos Castro Galeano	
Fidel Alonso Romero Toledo	
Camilo Andrés Quiñonez	

## Capítulo VI Medicina y salud

Diseño y construcción de una columna de destilación binaria, para ser implementado en el laboratorio virtual de la Universidad Nacional de Loja.....	427
José Leonardo Benavides	
Hernán Fabricio Alvarado	
Jimmy Stalin Paladines	
Fototoxicidad: Determinación de riesgos a la exposición crónica de la luz con soldaduras por arco y soplete autógena en los soldadores de la provincia de El Oro-Ecuador.....	440
Fredis Franco Pesantez	
Teresa María Alvarado Espinoza	
Jessica Tatiana Malla Peña	
Determinación de la capacidad cicatrizante del mucilago del melloco ( <i>Ullucus tuberosus</i> ) en heridas inducidas en ratones experimentales.....	449
Paul Stalin Ricaurte Ortiz	
Luis Fernando Arboleda Álvarez	
Elba María Boderó Poveda	
Modelamiento de fenómenos macroscópicos complejos con autómatas celulares: una propuesta de mitigación para lahares.....	460
Guillermo Machado	
Lorena Molin	
Yesenia Cevallos	
Valeria Lupiano	
Salvotere Di Gregorio	
Diseño de un modelo de gestión integral de mantenimiento hospitalario.....	471
Luis López Telenchana	
Tania Karina Berrezueta Espín	

## Prólogo

La innovación tecnológica en todo país es de vital importancia y va de la mano con la formación académica de pregrado y postgrado. Esto conlleva a una gran inversión en campos y áreas científicas, que evidenciara el interés gubernamental y privado de avanzar en la modernización del aparato tecnológico de toda nación. En América Latina, la preocupación las políticas de ciencia y tecnología surgieron muy pocos años después que los países industrializados tomaran conciencia acerca de su importancia. Una peculiaridad de la región, ha sido la íntima vinculación entre estas políticas y la problemática del desarrollo.

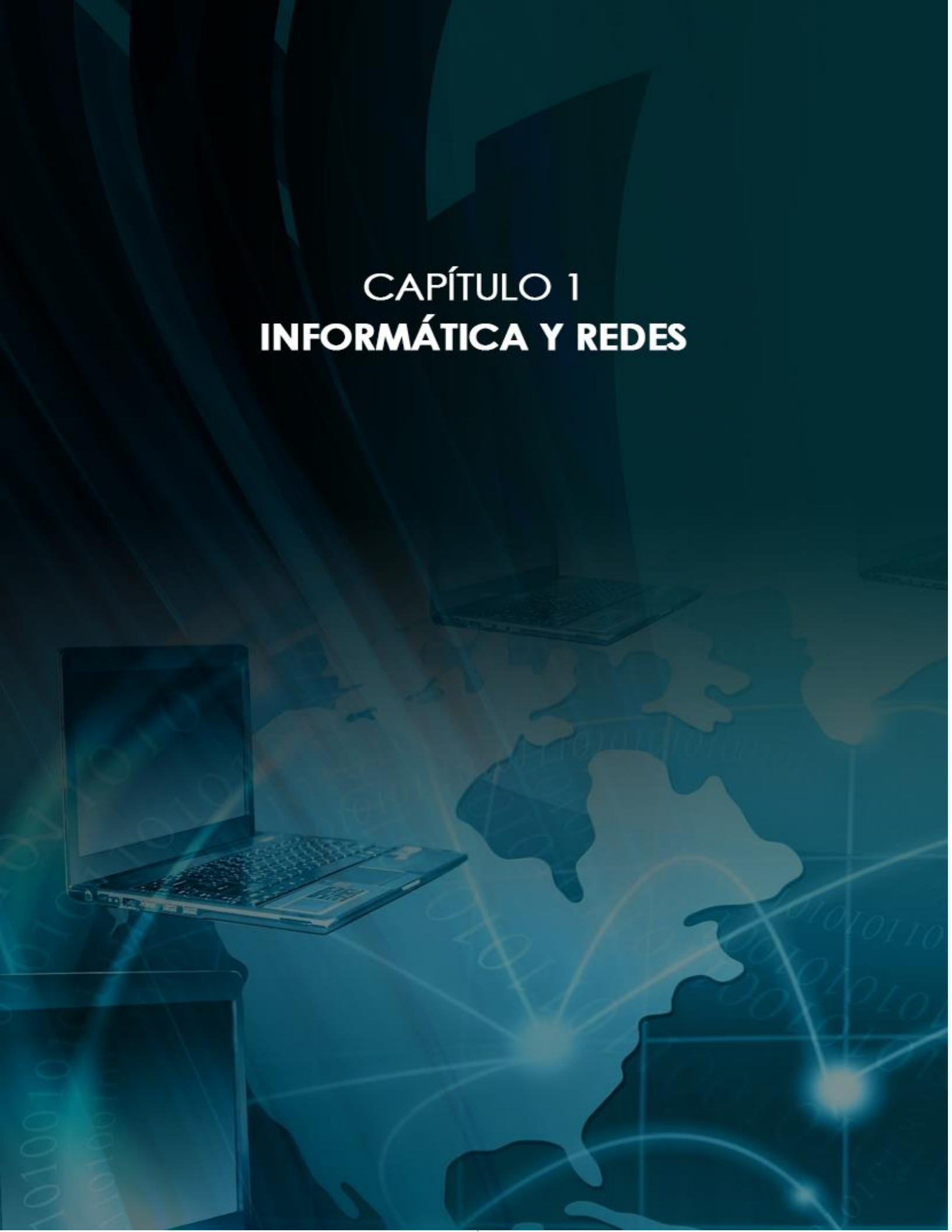
“Es un hecho ampliamente reconocido que la estructura de las relaciones internacionales en materia de ciencia y tecnología es imperfecta y refleja profundas diferencias entre las naciones. Refleja una situación en que unos pocos países –en particular, ciertas empresas industriales con sede en esos países- asumen el dominio tecnológico y determinan la dirección y el desarrollo de la tecnología en sectores cruciales, dejando a la mayoría de los países en situación de crítica dependencia tecnológica, pese a sus vastos recursos humanos y materiales” (Naciones Unidas, 1979).

Por lo tanto, es necesario apoyar esta inventiva y apropiación de tecnología desde las bases, desde los pequeños tecnólogos que se forman en las universidades, creando procesos científicos y de ingeniería, con los fines de desarrollar prototipos, aplicaciones, diseños, mapas didácticos entre otros, que garanticen diversificación del conocimiento y a su vez soberanía tecnológica para generaciones futuras. La compilación de trabajos en el área de ingeniería aquí expuesta, demuestra la creciente inquietud de las instituciones del estado y privadas de apuntar al desarrollo tecnológico y científico de la nación.



# CAPÍTULO 1

## INFORMÁTICA Y REDES



# Implementación de técnicas de gestión en tecnologías de información, para la optimización de los procesos financieros en el Instituto Tecnológico San Gabriel

**Fernando Molina**

Universidad Nacional de Chimborazo  
fmolina@unach.edu.ec

**Verónica Padilla**

Universidad Nacional de Chimborazo  
padillavero77@gmail.com

**Mary Chicaiza**

Universidad Nacional de Chimborazo  
maryyyy1989@hotmail.com

## Resumen

El presente artículo presenta un estudio que pretende responder a la pregunta de investigación: ¿La implementación de las Técnicas de Gestión en TI<sup>1</sup>, basada en la norma ISO/IEC 20000, optimiza los procesos financieros en el Instituto Tecnológico San Gabriel? Para ello con la utilización de la observación directa, entrevistas, encuestas, método deductivo y basado en los indicadores de productividad en los procesos del sistema de pago de matrículas y pensiones, se indica el resultado de la implementación de las técnicas de gestión en TI y de la aplicación de las normas ISO/IEC 20000 en el Instituto Tecnológico San Gabriel y se determina un crecimiento en la productividad del personal involucrado en dichos procesos y un decremento en el consumo de recursos. Al aplicar las técnicas de TI basado en las normas ISO/IEC 20000, se afirma que la implementación de técnicas de gestión en TI mediante la norma ISO/IEC 20000 mejora los procesos financieros en el Instituto San Gabriel.

**Palabras claves:** Gestión en TI, ISO/IEC 20000, Productividad.

## Abstract

This paper presents a study that aims to answer the following research question: Does the implementation of IT Management Techniques, based on ISO / IEC 20000, optimize financial processes at the San Gabriel Technological Institute? To do this, using direct observation, interviews, surveys, deductive method and based on the indicators of productivity in the processes of the system of payment of enrollments and pensions, indicates the result of the implementation of IT and application management techniques Of ISO / IEC 20000 standards at the San Gabriel Technological Institute and it is determined a growth in the productivity of personnel involved in these processes and a decrease in the consumption of resources.

**Keywords:** IT management, ISO / IEC 20000, Productivity.

---

<sup>1</sup>Tecnologías de Información

## Introducción

Hoy en día, con el desarrollo de las tecnologías de información y su relación directa con los objetivos de las organizaciones, el universo de amenazas y vulnerabilidades crece y provoca poca eficiencia en sus actividades diarias. El avance tecnológico y la realidad actual exigen que incorporemos a nuestras actividades cotidianas herramientas que las faciliten. Las TI permiten agilizar cualquier proceso mediante la automatización del mismo (Vasconez, 2017), el acceso a la información y la comunicación desde cualquier dispositivo ya sea móvil de escritorio, ha logrado eliminar las barreras de la distancia haciendo posible enviar y recibir instrucción desde cualquier lugar, de manera rápida y eficiente (Quisphi, 2016).

Por otro lado, mediante el uso de las TI, se intenta desarrollar un manual de procesos que permita sistematizar los procesos financieros y brindar al personal, una herramienta que les permita conocer exactamente como debe llevar a cabo sus actividades (Molina & Rodríguez, 2017).

En el Instituto Tecnológico San Gabriel, se evidencian varios problemas específicamente en el departamento financiero del cual se analizan dos procesos críticos: el proceso de pago de matrículas y el proceso de cobro de pensiones. Este proceso se lleva con una hoja electrónica y con un control manual. Para esta investigación se aplican las normas ISO/IEC 20000, se alinea a los objetivos de la institución, permitiendo tener servicios de calidad, además de establecer controles para medir y mantener niveles de servicio adecuados (Bauset-Carbonell, 2013).

El objetivo de este estudio es analizar las normas ISO/IEC 20000, para con su aplicación mejorar los procesos que se llevan en el Departamento Financiero, cómo es el proceso de matrículas y pensiones del Instituto Tecnológico Superior San Gabriel y así poder demostrar la mejora en los mencionados procesos.

Este artículo está desarrollado en base a la tesis de graduación desarrollada y guiada por los autores y está organizado en una sección de resumen e introductoria, que se indica la importancia y los objetivos del estudio y se describe los métodos y resultado brevemente, una sección de materiales y métodos donde se indica el proceso para obtener los resultados, un fundamento teórico mínimo necesario, los resultados y discusión de la pregunta de investigación, conclusiones y referencias.

## Materiales y Métodos

Para la realización de este documento, se basa en tres pasos generales, a) Realizar una línea base de los procesos financieros del instituto Tecnológico San Gabriel, para la determinación de las medidas correctivas necesarias para mejorar la manera como se llevan b) analizar las técnicas en TI de la norma ISO/IEC 20000 (Sočo, 2016), para su aplicación en los procesos financieros del Instituto Tecnológico San Gabriel y c) evaluar sus resultados.

Para ello, se realiza búsqueda en el motor de búsqueda google académico, utilizando como palabras claves la relación entre gestión en TI, aplicación de ISO/IEC 20000 y los índices de productividad, luego se realiza una selección manual filtrado por el año de publicación y por pertinencia en el contenido. Con esta base teórica, se aplica las técnicas TI en el Instituto y para la valoración de la encuesta se aplica una escala de Likert, que es comúnmente empleada en encuestas para medir el grado de satisfacción y simplificar el análisis de los datos, se trabaja con la distribución Chi-cuadrado. La encuesta se ha realizado en base a un cuestionario desarrollado previamente, con un valor de Alfa de Conbrach (Ledesma, 2002) de 0,831 que contienen temas enfocados a los indicadores a evaluar la optimización, tiempo y recursos en el proceso de pago de matrícula.

## Contextualización

En esta sección se trata brevemente cada una de las secciones que forman la norma y sus componentes.

- Sistema de gestión de servicios TI, la norma se estructura en torno a la utilización de procesos integrados para la gestión de los servicios TI, reflejando cuáles son sus objetivos y el número de requisitos de control que según la norma deben cumplir (Van Bon, 2008).
- El sistema de gestión de servicios TI (SGSTI), el Sistema de Gestión de los Servicios TI, cubre los aspectos de responsabilidad de la dirección, Requisitos de la documentación, Competencia, Concienciación y Formación. Todo ello según lo establecido por las Normas ISO/IEC 20000 (Blázquez, 2011).
- Planificación e implementación de servicios, nuevos o modificados, este proceso en la norma ISO/IEC 20000, comienza en el cliente y finaliza con el servicio entregado y operativo, o eliminado, (Gianni, 2011). Así, se debe considerar el Proceso de provisión de servicios, Proceso de relaciones, el Proceso de resolución, el Proceso de control y el Proceso de entrega (REDSER, 2008).
- Implementación ISO/IEC 20000. Lo primero y más importante es mencionar que ISO/IEC 20000 se centra en una gestión de los servicios orientada al negocio y basada en una estrategia de “mejora continua” (Muñoz, 2011). Por lo que su adopción es más un cambio cultural y de las formas de trabajar que un proyecto con un inicio y un fin (Carbonell, 2012). Por lo tanto, las organizaciones que necesiten establecer una gestión de los servicios TI eficiente y una cultura de mejora continua, se debe utilizar esta norma como la referencia más adecuada, independientemente de que finalmente soliciten o no la certificación ISO/IEC 20000 (Hitpass, 2014).

## Resultados y Discusión

Los Ítems indicados están referidos a la Norma ISO/IEC 20000. Se utilizan las palabras SI, NO, P (parcialmente) para indicar el estado de implementación.

Las preguntas se presentan agrupadas por secciones, en un orden que, no coincidiendo con el de presentación de la norma, se ha considerado el más adecuado a efectos de evaluación. La forma de completar este conjunto de preguntas pretende ser sencilla, mediante el marcado de respuestas, ver Tabla 1.

**Tabla 1.**

Verificación de cumplimiento de la norma ISO/IEC 20000

<b>Manual de Procedimientos</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>P</b>	<b>Observaciones</b>
Está definido el alcance del proyecto.(23)	X			
Se encuentra definidos los requerimientos primordiales (24) que solicita el Departamento Financiero	X			
Procesos documentados o referencia a ellos.	X			Únicamente de los Proceso de matrículas y pensiones
Se encuentra definida en la institución una política de calidad de acuerdo al propósito y la misma se encuentra distribuida por los diferentes sectores y procesos de la institución.		X		No cuenta con políticas de calidad la institución.
<b>Control de los Documentos</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>P</b>	<b>Observaciones</b>
Existe un procedimiento documentado que defina los controles necesarios para: (25) • Emitir y aprobar los documentos. • Revisar,			X	



<b>Manual de Procedimientos</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>P</b>	<b>Observaciones</b>
Se identifica el estado de revisión actual de los documentos.	X			
Se asegura que los documentos permanecen legibles y fácilmente identificables.	X			
<b>Responsabilidad Autoridad y Comunicación</b>	Si	No	P	Observaciones
Se ha definido la estructura de la organización	X			
Se encuentran definidas las diferentes responsabilidades y autoridades dentro del Departamento financiero	X			Se ha definido los actores del proceso a través del modelo BPMN
Se ha identificado al personal responsable de la toma de decisiones sobre la aprobación emisión de la Declaración de Conformidad con la implementación de los procedimientos	X			Se ha definido los actores del proceso a través del modelo BPMN
<b>Revisión por la Dirección</b>	Si	No	P	Observaciones
Existe evidencia de que la dirección ha revisado el sistema de gestión para asegurar su conveniencia, adecuación y eficacia. La información de entrada de la revisión por la dirección debe incluir: a. La retroalimentación del cliente b. El desempeño de los procesos y la conformidad de los servicios de pago de matrícula y pensiones c. El estado de las acciones correctivas y preventivas d. Las acciones de seguimiento de revisiones por la dirección previas. e. Los cambios que podrían afectar al Departamento Financiero f. Las recomendaciones para la mejora.	X			Se realizado los manuales mensuales y semestrales para verificar que se cumplan los requerimientos establecidos por el departamento financiero.
Los resultados de la revisión por la dirección incluyen decisiones y acciones relacionadas con: a) la mejora del sistema de gestión y sus procesos b) la mejora de los procesos en relación con los requisitos del cliente	X			Gracias a los manuales se puede identificar falencias en los procesos implementados
<b>Competencia, toma de conciencia y formación.</b>	Si	No	P	Observaciones
La organización ha determinado la competencia necesaria para el personal que identifique falencia y a su vez realice mejoras en el proceso de matrícula y pensiones.	X			
La organización proporciona formación o toma otras acciones para satisfacer dichas necesidades.	X			Para la capacitación de personal se han prestados todas las facilidades por parte de la institución.
La organización se asegura de que el personal sea consciente de la pertinencia e importancia de sus actividades y de cómo contribuyen al logro de los objetivos.		X		No se tiene en claro los objetivos por parte del personal
<b>Procesos relacionados con los clientes</b>	Si	No	P	Observaciones
La organización determina los requisitos especificados y características relevantes para el cliente.	X			
Se incluyen los requisitos para las actividades de entrega y las posteriores a la misma.	X			Manuales mensuales y semestrales
Se determinan los requisitos legales y reglamentarios relacionados con el servicio.	X			
<b>Prestación de Servicios</b>	Si	No	P	Observaciones

Manual de Procedimientos	Si	No	P	Observaciones
¿Se planifica la implementación y se lleva a cabo bajo condiciones controladas?	X			
Disponibilidad de información que describa las características del servicio. (26)				Diagrama de Ishikawa
Disponibilidad de instrucciones.		X		
Uso del equipo apropiado	X			
Disponibilidad y uso de dispositivos de seguimiento y medición.		X		Se realizó la medición de tiempos para determinar si se tubo mejoras en los procesos
Implementación de actividades de liberación, entrega y posteriores a la entrega. (27)	X			Se utilizó el modelo PDCA la cual es cíclica con la cual se tiene mejoras continuas
Auditoría interna	Si	No	P	Observaciones
Se planifica un programa de auditorías tomando en consideración el estado y la importancia de los procesos y las áreas por auditar, así como los resultados de auditorías previas.	X			Manuales encomendados por la norma ISO/IEC 20000
La organización lleva a cabo auditorías internas para determinar si el Departamento Financiero: a) es conforme con las disposiciones planificadas y los requisitos establecidos por la institución. b) ha sido implementado y se mantiene de manera eficaz.	X			
Se ha definido un procedimiento documentado que incluya: 1. Las responsabilidades y los requisitos para la planificación y la realización de auditorías.	X			Acuerdos de nivel de servicios (SLA)
La Dirección toma conocimiento de las acciones tomadas y evalúa las acciones tomadas interviniendo cuando considere que no son adecuadas.	X			
Seguimiento y medición	Si	No	P	Observaciones
La organización mide y hace un seguimiento de las características de los procesos para verificar que se cumplen los requisitos del mismo.	X			Se realizara auditorías internas por parte de la institución.
La medición se efectúa en las etapas apropiadas del proceso de acuerdo con las disposiciones planificadas.	X			Modelo PDCA
Se mantiene evidencia de la conformidad con los criterios de aceptación.	X			
Se garantiza que prestación del servicio no se llevan a cabo hasta que se hayan completado satisfactoriamente las disposiciones planificadas.	X			

**Fuente:** Autores

### Control del proceso

El proceso se monitorea y controla a través de informes que contemplen el nivel de cumplimiento de los SLAs, monitorización de la gestión del Centro de Servicios, grado de satisfacción de los clientes.

Los incidentes no resueltos en los niveles de escalado preestablecidos, se puede observar en la Tabla 2.

**Tabla 2.**

Medición de matrículas del 2014 al 2016

Meses/ Años	2014	2015	2016
Marzo	200	350	800
Abril	500	500	820
Mayo	500	600	820
Junio	500	600	820

**Fuente:** Autores

### **Análisis del nivel de servicio**

El 83% de los usuarios solicitan soporte del Centro de Servicios, esto nos indica que la carga de solicitudes es muy grande, aunque la misma puede variar por lo que será necesario una vez implementado la herramienta de cobro de matrículas y pensiones, el generar mensualmente los informes de Servicios de TI que ofrece el departamento Financiero. Ver Tabla 3.

**Tabla 3.**

Análisis de incidentes reportados

	Resueltos	Pendientes	Solicitados
Fallas de Software	17	4	21
Fallas de Hardware	14	2	16
Fallas de Red	11	1	12
Total	42	7	49

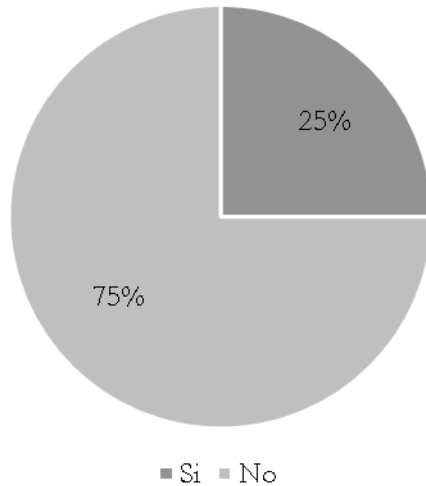
**Fuente:** Autores

(Realizado en enero 2017)

El resultado reflejado es satisfactorio, ya que la diferencia porcentual entre la contestación a la solicitud de fallas esta entre 1 a 2 horas. Como los plazos para atención en caso de emergencia está en los parámetros establecidos en los acuerdos anteriormente.

El 78% de los usuarios posee los programas que requiere, lo cual refleja que existe aún un grupo minúsculo que no posee las herramientas necesarias para su labor a nivel de software, esto se debe a que el usuario no maneja todavía bien el software. En futuras encuestas se espera que mejore este indicador debido a las capacitaciones constantes que se le da al personal.

El 75% de los usuarios al solicitar soporte indica que a veces el personal del SBTI está disponible, y apenas un 40% de las peticiones que se realizan a nivel telefónico son atendidas. Este resultado es alarmante. Figura 1.



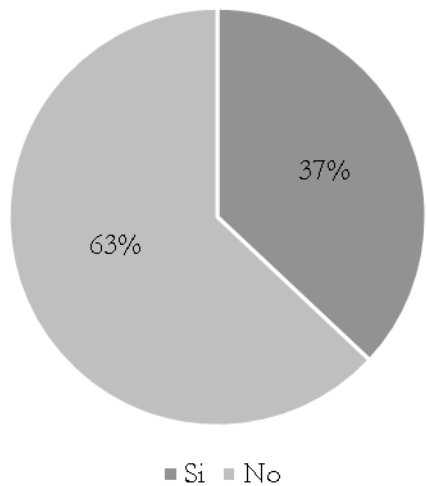
**Figura 1.**

¿El personal del centro de servicios está disponible cuando usted lo necesita?

**Fuente:** Autores

(Realizado en enero 2017)

Este otro resultado preocupa, pues el 63% de los usuarios indica que la rapidez con que es atendida su solicitud no es la que ellos desearían. Figura 2.



**Figura 2.**

¿Responde con rapidez al problema?

**Fuente:** Autores

(Realizado en enero 2017)

### Medición de procesos de matrículas

Para lo cual se ha realizado tablas con el número de usuarios y el tiempo que se demora el proceso tanto antes como después de la implementación, como se muestra a continuación en la Tabla 4.



**Tabla 4.**

Medición de proceso de matrícula

<b>Realizado manualmente</b>		<b>Automatizado</b>
No Clientes	Minutos	Minutos
1	14	6
2	15	7
3	14	6
4	13	8
5	15	5
6	17	7
7	14	6
8	16	6
9	18	6
10	15	7
Total	58	16
Promedio	15,1	6,4

**Fuente:** Autores

(Realizado en enero 2017)

### Medición de procesos de pensiones

Para lo cual se ha realizado tablas con el número de usuarios y el tiempo que se demora el proceso tanto antes como después de la implementación, como se muestra a continuación en la Tabla 5.

**Tabla 5.**

Medición de proceso de pensiones

<b>Realizado manualmente</b>		<b>Automatizado</b>
<i>No Clientes</i>	<i>Minutos</i>	<i>Minutos</i>
1	10	8
2	12	9
3	9	7
4	11	8
5	11	8
6	11	8
7	12	7
8	12	8
9	12	7
10	10	9
<i>TOTAL</i>	<i>110</i>	<i>79</i>
<i>PROMEDIO</i>	<i>11</i>	<i>7,9</i>

**Fuente:** Autores

(Realizado en enero 2017)

### Mejora continua

Una vez realizada la prueba piloto con 20 estudiantes, los cuales 10 estudiantes fueron atendidos de forma actual y los otros 10 se los atendió a través del sistema implementado, se verifica que los cambios funcionan correctamente y dan el resultado deseado, como se muestra a continuación en la Tabla 6. Si los cambios

realizados no satisficieran las expectativas se debería realizar una modificación para que funcionen conforme a lo esperado.

**Tabla 6.**

Evaluación tiempo en el proceso de matrícula

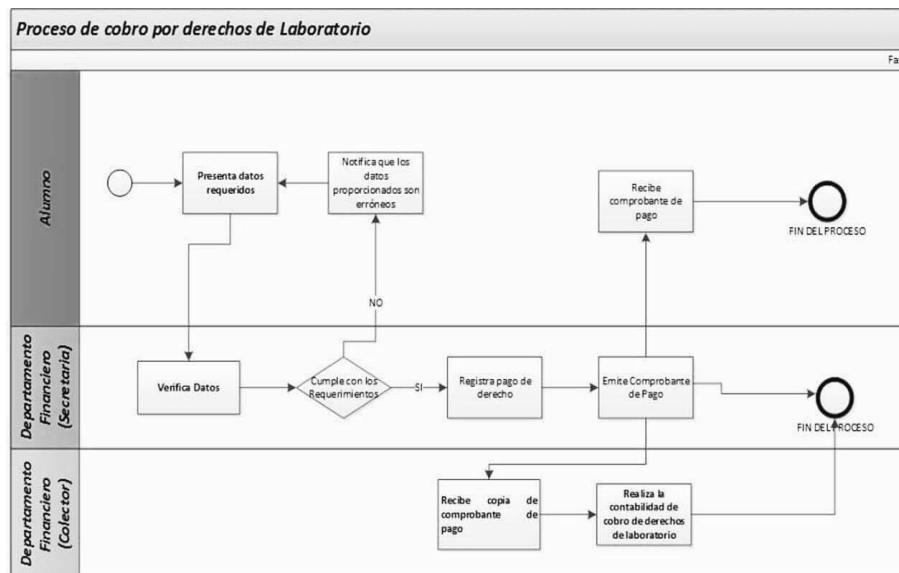
Parámetros	Manualmente	Automatizado
Verificación de Requisitos	2	1
Emitir Comprobante de Pago	3	1
Carga de datos	3	2
Visualización de estados de cuenta por matrícula	3	3
Total	11	7
Porcentaje	91,7%	58%

**Fuente:** Autores

(Realizado en enero 2017)

Debido a que los resultados son satisfactorios, se realizará la implementación del sistema a gran escala en el departamento Financiero. Una vez finalizadas e implantadas las mejoras, los procesos de pago de matrícula y cobro de pensiones que se los realiza en el departamento mencionado anteriormente funcionarán más eficientemente. No obstante, periódicamente habrá que volver a buscar posibles nuevas mejoras y volver a aplicar el ciclo de Deming de nuevo (Abad, 2010).

Dentro del departamento financiero se dispone de una secretaria que es la encargada de realizar el cobro de derechos de laboratorio, a su vez verifica si el alumno cuenta con todos los requisitos para poder seguir con el proceso. Emite comprobante de pago, y el contador de este departamento tiene como función en el proceso realizar la contabilidad del dinero por parte de cobro por derechos de laboratorio.



**Figura 3.**

Proceso de pago de derechos de laboratorio

**Fuente:** Autores

(Realizado en enero 2017).

Después de realizar el levantamiento de información por medio de entrevistas con los involucrados en el proceso, se procedió a realizar el siguiente modelo bajo el estándar BPMN 2, que representa el proceso de cobro de matrículas del Instituto Tecnológico San Gabriel.

Así, con estos datos se procede al análisis estadístico en base a las mediciones antes de la aplicación de las técnicas y normas y mediciones luego de la aplicación.

En esta investigación se utiliza la distribución de Chi-cuadrado, (Wayne, 1998), utilizando el nivel de significancia de 0,05 cuyo valor permitirá determinar si el resultado obtenido es un valor aceptable o no, y de esta manera poder responder la pregunta de investigación planteada.

Mediante el cálculo realizado se obtienen los siguientes datos  $X^2_{calculado} = 0,004895$ ,  $v = 1$  grado de libertad,  $X^2_{tabla} = 3,841$ .

### Discusión

Haciendo uso de la siguiente regla de decisión:

Si  $X^2_{calculado} > X^2_{tabla}$ , se acepta como válida la pregunta de investigación, Entonces determinando que  $X^2_{calculado} < X^2_{tabla}$  es decir que  $0,004895 < 3,841$  entonces se procede a responder afirmativamente la pregunta de investigación, es decir, se afirma que la implementación de técnicas de gestión en TI mediante la norma ISO/IEC 20000 mejora los procesos financieros en el Instituto San Gabriel.

### Conclusiones

Para el desarrollo de esta investigación se determinan dos procesos críticos que lleva el Departamento Financiero del Instituto Tecnológico Superior San Gabriel, los cuales son el proceso de matrículas y el pago de pensiones. Se realiza una línea base de cómo se lleva estos procesos en la actualidad a través de entrevistas con los actores directos de estos dos procesos.

Finalmente, con el diagrama de Ishikawa se pudo determinar los principales problemas que presentan los procesos mencionados anteriormente, como es la falta de estandarización en sus operaciones y protocolos, ser poco amigable y productivo para la institución.

El estándar ISO/IEC 20000, es un conjunto de buenas prácticas que no limitan a la institución a seguir un nivel restringido al momento de gestionar los Servicios de TI, si no que permite que este este estándar se acople a las necesidades de la empresa, permitiendo mejorar la calidad del servicio, tanto en su parte tecnológica, estructural y en la de atención al cliente.

Al aplicar las técnicas de TI basado en las normas ISO/IEC 20000, analizados los resultados, se afirma que la implementación de técnicas de gestión en TI mediante la norma ISO/IEC 20000 mejora los procesos financieros en el Instituto San Gabriel.

### Agradecimiento

Agradecemos al Instituto Tecnológico San Gabriel y a la Universidad Nacional de Chimborazo, por las facilidades.

## Referencias

- Abad, L. M. (2010). Serie ISO/IEC 20000. Gestión de los servicio de TI. En *Serie Iso/Iec 20000*.
- Aenor Ediciones (s.f.). Recuperado de <http://www.aenormexico.com/tecnologia-de-la-informacion.aspx>
- Bauset-Carbonell, M.C. & Rodenes-Adam, M. (2013). Gestión de los servicios de tecnologías de la información: Modelo de aporte de valor basado en ITIL e ISO/IEC 20000. *El profesional de la información*, 22(1), pp. 54-61.
- Blázquez, M. C. V. (2011). *Improvingit service management using anontology-based and model-drivenapproach*, (Doctoral dissertation), Universidad de Alcalá.
- Carbonell, M. D. C. B. (2012). *Modelo de aporte de valor de la implantación de un sistema de gestión de servicios de TI (SGSIT), basado en los requisitos de la norma ISO/IEC 20000* (Doctoral dissertation).
- Gianni, R. d. (2011). *Metodología BPM:RAD.*
- Hitpass, B. (2014). En *BPM: Business Process Management fundamentos y conceptos de implementación*, pp. 3-10. Santiago de Chile, Chile.
- Ledesma, R., Molina, G., & Valero, P. (2002). Análisis de consistencia interna mediante Alfa de Cronbach: un programa basado en gráficos dinámicos. *Psico-USF*, 7(2), pp. 143-152.
- Molina, F. & Rodríguez, G. (2015). Digital preservation and criminal investigation: A pending subject. In *New contributions in information systems and technologies*, pp. 299-309. Springer International Publishing.
- Muñoz Perriñán, I. L., & Ulloa Villegas, G. V. (2011). Gobierno de TI-Estado del arte. *Sistemas y Telemática*, 9(17), pp. 23-53.
- Norma, I. S. O. (2008). *9001: 2008. System zarządzaniajakością–Wymagania*.
- Quisphí, C., Cruz, M., & PadillaSampedro, V. M. (2016). *Implementación de las técnicas de gestión en TI basada en la norma ISO/IEC 20000, para la optimización de los procesos financieros en el Instituto Tecnológico San Gabriel* (Bachelor'sthesis), Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo.
- REDSER. (2008). *Sistema de gestión de servicios TI (SGSTI)*. Recuperado de <http://www.redser.com/servicios/iso-20000.asp>
- Sočo, M. (2016). *ISO/IEC 20000* (Doctoral dissertation), Polytechnic of Sibenik.
- Van Bon, J. (2008). *Fundamentos de Gestión de Servicios TI*, basado en ITIL®.
- Vasconez Barrera, F., & Molina Granja, F. (2017). Diseño de un sistema de control gerencial de plantas avícolas utilizando redes de sensores inalámbricos con tecnología Open Hardware / Design of a

management control system for poultry plants using wireless sensor networks with Open Hardware technology. *Ciencia Unemi*, 9(21), pp. 143-156. Recuperado de [http://ojs.unemi.edu.ec/index.php/ciencia\\_unemi/article/view/406](http://ojs.unemi.edu.ec/index.php/ciencia_unemi/article/view/406)

Wayne, D. (1988). *Estadística con aplicaciones a las ciencias sociales y a la educación*. México, México: McGraw-Hill, 503 p. [Links].

# Análisis comparativo de herramientas data quality propietario frente a las herramientas de software libre disponibles en el mercado

**Carlos Medina Benalcázar**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
skuiport7@gmail.com

**Paúl Xavier Paguay Soxo**

Universidad Nacional de Chimborazo  
ppaguay@unach.edu.ec

**Pamela Alexandra Buñay Guisñan**

Universidad Nacional de Chimborazo  
pbunay@unach.edu.ec

## Resumen

La presente investigación está destinada al análisis de las herramientas para calidad de datos, cuyo objetivo es determinar las mejores herramientas que ayuden a garantizar la calidad de datos en los almacenes de información. El análisis de las herramientas parte de conocer las ventajas que cada una ostentan para el mejoramiento de los datos. El proyecto de calidad de datos desarrollado para el presente análisis, permitió visualizar los beneficios que brindan cada una de estas herramientas; el escenario de pruebas se realizó con la información de la carrera de Ingeniería en Sistemas de la ESPOCH, obteniendo como resultados Data Integrator con 91.75%, SQL Power 86%, Informatica 83,25%, por último DataCleaner con 75%.

**Palabras claves:** Calidad de datos, Herramienta, Análisis de la calidad de datos, Perfiles de datos, Limpieza de datos, Auditoría de datos.

## Abstract

The present research is dedicated to the analysis of the tools for data quality with the objective of determining the best tools that help to guarantee the quality of the data in the data warehouses. The analysis of the tools begin with the advantages of tools have for the improvement of data, the data quality project developed for this analysis allow to visualize benefits of each tools, the test scenario was carried out with the ESPOCH System Engineering Career, obtaining Data Integrator results with 91.75%, SQL Power 86%, Informatica 83.25%, for last DataCleaner with 75%.

**Keywords:** Data quality, Tool, Data quality analysis, Data profiles, Data cleaning, Data audit.

## Introducción

El presente trabajo está dirigido al análisis de las herramientas para calidad de datos, las cuales nos ayudan a mejorar la información de los almacenes de datos. Debido a la incorporación del software de mejora de calidad de datos a los sistemas informáticos, algunas de las labores en las empresas han evitado serios problemas en esta área. La calidad de los datos debería ser tomada en cuenta por cualquier empresa que desee ahorrar dinero, multiplicar las respuestas a sus propuestas, evitar los malos entendidos y causar una excelente impresión a sus clientes actuales y futuros.

Los errores en los datos tienen que ver con la falta de flexibilidad de algunos sistemas informáticos y con las propias equivocaciones y negligencias humanas. Los datos, de hecho, deben hacer frente a un continuo equilibrio entre la rapidez y la agilidad que demandan los responsables empresariales, así como los límites y requerimientos que marcan la estructura tecnológica. Lo que se debería hacer, es asumir precisamente que la no calidad de los datos ha de atacarse desde su raíz, esto es, desde los procesos de entrada y carga de datos hasta los procesos de salida.

Existen varios estándares de calidad tal como ISO / IEC 25012:2008 el cual se puede utilizar para establecer los requisitos de calidad de datos, definir las métricas e indicadores, o el plan y llevar a cabo evaluaciones de calidad de datos (ISO, 2008).

### **Importancia del problema**

La necesidad de calidad y gestión de datos en los almacenes de información es uno de los factores clave de éxito en cualquier proyecto del mundo real, de los datos se puede conocer que son imperfectos, víctimas de diversas formas de defectos tales como la variabilidad del sensor, los errores de estimación, la incertidumbre, los errores humanos en los datos de entrada, etc.

Comprender la existencia del problema, identificarlo plenamente, diseñar un plan de trabajo y dedicar los recursos necesarios, tanto para su corrección inicial como para la corrección continuada a lo largo del tiempo, es mandatorio para no tener inconvenientes en el futuro en cuanto a la información verificada y validada. Por lo tanto, primero es asumir que la calidad de los datos es un asunto que hay que incorporar en la agenda empresarial y situarlo en el mismo nivel que cualquier otro servicio crítico.

Además, que una buena práctica en la utilización de las herramientas para calidad de datos nos lleva a obtener grandes ventajas como:

- Incremento de la productividad de TI.
- Ahorro de costes y recursos eliminando los registros duplicados.
- Aumento de su competitividad incorporando sólo información relevante y necesaria a sus almacenes de datos.

### **Metodología**

#### **Calidad de datos (DQ)**

Calidad de datos se refiere a los procesos, técnicas, algoritmos y operaciones encaminados a mejorar la calidad de los datos existentes en empresas y organismos. Una definición menos técnica de datos de alta calidad es que los datos son de alta calidad, "si son aptos para los usos previstos en las operaciones, la toma de decisiones y la planificación" (Pérez Menéndez, 2013).

#### **Análisis de la calidad de datos (DQA)**

El análisis de la base de datos nos permite conocer por un lado la calidad de la misma y por otro el perfil de las personas/empresas que componen la misma (Medina, 2013).

El análisis de la base de datos puede ser de dos tipos:

- Análisis de la estructura de la base de datos: Mediante este análisis se investiga la estructura con la que cuenta la base de datos: Registros que componen el BD, campos a analizar, calidad de los datos en la misma. Este tipo de análisis nos da los resultados necesarios para diseñar acciones concretas de

actualización y enriquecimiento de la base de datos.

- Análisis del contenido de la base de datos: Este tipo de análisis se realiza cuando se supone que la BD tiene una estructura correcta y los campos y registros de la misma están actualizados (Data Cleaner, 2011).

### **Perfiles de datos / Data Profiling**

Perfiles de datos es el proceso de analizar y explorar sus datos, para tener un mejor conocimiento y de entender si hay inconsistencias o entradas problemáticas en sus datos (Informática).

### **Limpieza de datos / Data Cleansing**

La data cleansing, data scrubbing o limpieza de datos, es el acto de descubrimiento, corrección o eliminación de datos erróneos de una base de datos. El proceso de data cleansing permite identificar datos incompletos, incorrectos, inexactos, no pertinentes, etc. y luego substituir, modificar o eliminar estos datos sucios ("data duty"). Después de la limpieza, la base de datos podrá ser compatible con otras bases de datos similares en el sistema (Informática).

### **Auditoría de datos / Data Auditing**

Auditoría de datos es el proceso de garantizar la calidad de datos desde el comienzo de un proceso para el destino final de una manera repetible y medida (Informática).

### **Monitoreo de calidad de datos**

Se ha argumentado que de perfiles de datos es una actividad ideal de exploración. El monitoreo de Calidad de los datos no lo es, las mediciones que se hacen al perfilar muchas veces necesita ser continuamente revisadas a fin de que las mejoras se apliquen a través del tiempo. Esto es de lo que el monitoreo de calidad de los datos se trata (Informática).

### **Herramientas para calidad de datos**

Los productos de calidad de datos permiten definir y automatizar estándares para asegurar que los datos dentro de la organización sean capturados y almacenados, de tal manera que puedan ser compartidos por otras aplicaciones y sistemas en el momento que se lo requiera. Proporcionan mecanismos que permiten auditar el nivel de la calidad de los datos, identificar problemas, desarrollar procesos que automatizan la resolución de esos problemas y a continuación, monitorizar si se mantienen los niveles de calidad de la información requeridos por el negocio (Friedman & Judah, 2015).

### **Ventajas de las herramientas para calidad de datos**

El uso de productos de Calidad de Datos trasciende en numerosos beneficios:

- Operaciones Eficientes.
- Reportes Preciso.
- Análisis Intuitivo.
- Mejor Servicio al Cliente.
- Aumento de Ingresos.
- Cumplimiento Regulatorio Fiable.



### **Aplicabilidad de las herramientas para calidad de datos**

Las organizaciones aplican productos de calidad de datos en muchos entornos diferentes, porque los datos cambian de uno a otro rápidamente y a menudo se reutilizan o son capturados a través de sistemas diferentes.

Los procesos de calidad de datos se incluyen habitualmente en:

- Sistemas CRM.
- Sistemas ERP.
- Data Warehouses.
- Comercio Electrónico.
- Arquitecturas Orientadas a los Servicios (SOA).
- Integración de Datos.

### **Tipos de herramientas para calidad de datos**

Se ha logrado identificar algunas de las herramientas más conocidas en el mercado y se lo ha dividido en dos grupos los cuales son los siguientes:

Propietarias:

- Ascential Software.
- DataFlux.
- Evoke Software.
- Informática (Informatica).
- Trillium Software.
- IBM InfoSphere Quality Stage.
- Sap Data Integrator.
- Oracle Data Integrator (Oracle, 2017)

Open Source:

- Talend Data Quality.
- Data Cleaner (DataCleaner, 2011).
- Infosolve.
- SQL Power (SQLPower, 2017).

Todas estas herramientas permiten realizar análisis de datos y utilizar una o varias técnicas de Data Quality, para este caso de estudio serán analizadas las herramientas propietarias Oracle Data Integrator e Informatica y las herramientas libres DataCleaner y SQL Power debido a su facilidad de obtención y por ser las más populares dentro de las herramientas para calidad de datos.

### **Criterios y parámetros**

Los criterios y parámetros establecidos con los que se llevó a cabo la evaluación de cada herramienta se detalla en las tablas 1, 2 3 y 4.

**Tabla 1.** Criterios y parámetros

<b>Criterio</b>	<b>Parámetro</b>
Compatibilidad	Acceso a datos
Rendimiento	Limpieza de datos
	Configuración de la herramienta

**Fuente:** Autores

**Tabla 2.** Acceso a datos

**Acceso a datos**

<b>Indicador</b>	<b>Descripción</b>
Soporte a múltiples bases de datos.	Números de motores de base de datos
Manipulación con la base de datos.	Tiempo en configurar la conexión
Desempeño con la base de datos.	Manipulación de los datos

**Fuente:** Autores

**Tabla 3.** Limpieza de datos

**Limpieza de datos.**

<b>Indicador</b>	<b>Descripción</b>
Eliminación de registros duplicados.	Tiempo de configuración y eliminar registros duplicados
Funciones de limpieza.	Capacidad de emplear funciones de limpieza

**Fuente:** Autores

**Tabla 4.** Configuración de la herramienta

**Configuración de la herramienta**

<b>Indicador</b>	<b>Descripción</b>
Instalación de la Herramienta.	Tiempo de instalación
Configuraciones.	Tiempo de configuraciones adicionales
Documentación.	Información para el correcto uso de las herramientas.

**Fuente:** Autores

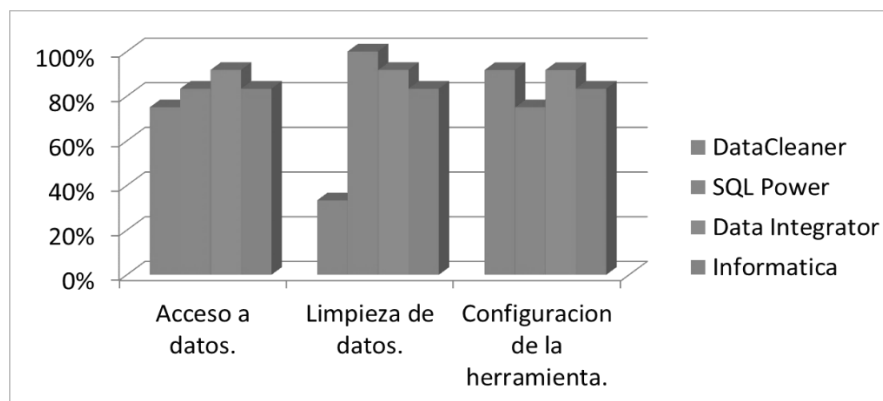
## **Resultados**

Las herramientas fueron probadas en el mismo escenario, el mismo constaba de dos tablas de cien mil registros cada una en SQL SERVER 2008 con diferentes problemas de calidad como columnas duplicadas, valores inválidos y columnas en nulo, para lo cual como se representa en la figura 1, se obtuvieron los siguientes resultados:

Al realizar el análisis de los resultados obtenidos de las calificaciones de cada indicador, para el criterio de acceso a datos se demostraron las diferencias existentes entre cada una de las herramientas, teniendo como la mejor herramienta para este criterio a Data Integrator con un porcentaje del 91.67% de la calificación total por encima de Sql Power e Informática, con 83.33% del porcentaje y dejando a Data Cleaner con apenas un 75%, en lo que respecta al manejo de las conexiones, manipulación de los datos y desempeño al momento de trabajar, debido a su factibilidad de uso y su amigabilidad en la interfaz gráfica.

Para el criterio de limpieza de datos, se demostraron las diferencias existentes entre cada una de las herramientas, teniendo como la mejor herramienta para este criterio a Sql Power con un porcentaje del 100% de la calificación total por encima de Data Integrator con 91.67% del porcentaje, además Informática con el 83.33% y Data Cleaner con el 33.3% de la calificación, en lo que respecta a los tiempos que toma configurar las funciones de limpieza y los tiempos de configuración para la eliminación de registros duplicados.

El criterio de configuración de la herramienta, demostró las diferencias existentes entre cada una de las herramientas, teniendo como las mejores herramientas para este criterio a Data Integrator y Data Cleaner con un porcentaje del 91.67% de la calificación total por encima de Informática con 83.33% del porcentaje, además Sql Power con el 75% de la calificación, en lo que respecta la instalación de cada herramienta y la configuración después de cada instalación, además de proveer una buena documentación para la realización de este trabajo.



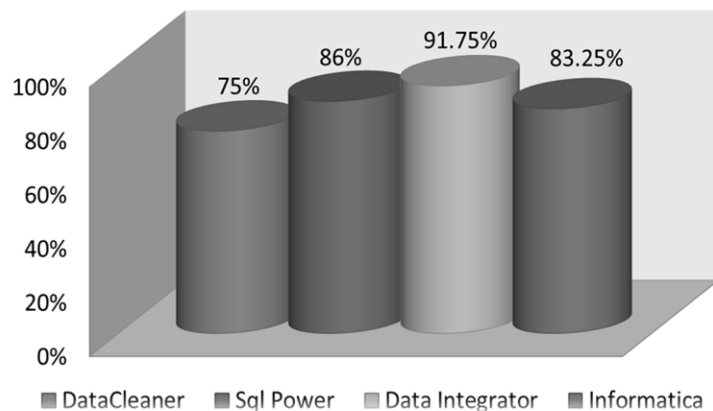
**Figura 1.**

Resultados de criterios y parámetros de evaluación

**Fuente:** Autores

### Discusión

Una vez realizado el análisis comparativo y con los resultados obtenidos con para cada una de las herramientas para calidad de datos, se concluye que la herramienta Data Integrator ha obtenido el puntaje más alto con un porcentaje de 91,75%, mientras que la herramienta SQL Power ha obtenido un valor de 86% equivalente a Muy Bueno, además que la herramienta Informática ha obtenido un valor de 83,25%, equivalente a Muy Bueno y al final con el porcentaje más bajo DataCleaner ha obtenido un valor de 75% equivalente a Bueno, la representación de estos datos se observa en la figura 2.



**Figura 2.**

Consolidación de resultados

**Fuente:** Autores

### Conclusiones

El análisis comparativo realizado entre las herramientas para la calidad de datos, permite determinar las herramientas más aceptables que se adaptan de mejor manera para un proyecto de calidad de datos, obteniendo los siguientes resultados para cada una de las herramientas: Data Integrator ha logrado el puntaje más alto con un porcentaje de 91.75%, mientras que la herramienta SQL Power ha obtenido un valor de 86%, además la herramienta informática alcanzó un valor de 83,25% y al final con el porcentaje más bajo Data Cleaner ha conseguido un valor de 75%.

El uso de las herramientas para calidad de datos permite mejorar las dimensiones de calidad brindando muchos beneficios al momento de explotar la información en el negocio, debido a que los datos constituyen un activo importante en cada empresa. Por otro lado, el costo de licenciamiento de las herramientas, incidirá directamente en la toma de decisión por parte de la organización en cuanto a escoger una o varias opciones.

### Agradecimiento

Los autores contribuimos de igual forma en la realización de la investigación y escritura del artículo. Agradecemos a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a la Universidad Nacional de Chimborazo por permitirnos realizar el presente trabajo.

### Referencias

- Data Cleaner.(2011). *DataCleaner.org*. Recuperado de <https://datacleaner.org/resources/docs/3.0.3/pdf/data-cleaner-reference.pdf>
- Friedman, T., & Judah, S. (18 de noviembre de 2015). *gartner.com*. Recuperado de <https://www.existbi.com/wp-content/uploads/2014/03/Magic-Quadrant-for-Data-Quality-Tools.pdf>
- Informática (s.f.). *Informática.com*. Recuperado de [https://www.informatica.com/INFA\\_Resources/br\\_mdm\\_es.pdf](https://www.informatica.com/INFA_Resources/br_mdm_es.pdf)

ISO (Diciembre de 2008). *Norma ISO*. Recuperado de ISO/IEC 25012:2008: <https://www.iso.org/standard/35736.html>

Medina, J. (13 de febrero de 2013). *Buenastareas.com*. Recuperado de <http://www.buenastareas.com/ensayos/Data-Quality/7365766.html>

Oracle (2017). *Oracle Data Integrator Documentation*. Recuperado de <http://www.oracle.com/technetwork/middleware/data-integrator/documentation/index.html>

Pérez Menéndez, C. (13 de Octubre de 2013). *Liberix*. Recuperado de <http://liberix.es/blog/en-los-datos-la-calidad-importa/>

SQLPower (2017). *SQLPower*. Recuperado de <http://software.sqlpower.ca/page/products>

# Metodología para procesos de inteligencia de negocios con mejoras en la extracción y transformación de fuentes de datos

**Santiago Leonardo Morales**

Universidad Central del Ecuador  
smorales@uce.edu.ec

**Mario Raúl Morales**

Universidad Central del Ecuador  
mmoralesm@uce.edu.ec

**Dr. Ramón Rizo A.**

Universidad de Alicante

## Resumen

El hecho de no tener claro un método para ser eficiente en la búsqueda de decisiones en inteligencia de negocios (IN), genera altos costos en el uso de recursos, por lo cual la ciencia de la computación llegó a solventar esta problemática mediante una rama de la misma que es la inteligencia artificial y en un sub campo como es el Aprendizaje Automático (AA). En el presente trabajo se va a definir una metodología llamada M3S de IN, en la cual se determina un procedimiento adecuado a seguir para tener los mejores resultados en la extracción de información, para obtener mayor conocimiento y valor en la información; a su vez dicha metodología se sustentará en el algoritmo ID3 de Árboles de decisión el cual se fundamenta de conceptos matemáticos como son la entropía y ganancia de información dentro del análisis de los mejores atributos que se pueden considerar para toma de decisiones.

**Palabras claves:** Aprendizaje automático, Árboles de decisión.

## Abstract

The fact of not having a clear method to be efficient in the research of decisions in business intelligence generates high costs in the use of resources. Computer Science solves this problem through Artificial intelligence and in the Automatic Learning (AA). In the present paper, a methodology called M3S of IN will be defined, in which an appropriate procedure is determined to be followed to have the best results in the extraction of Information; to obtain greater knowledge and value of the information. This methodology will be based on the ID3 algorithm of Decision trees which is based on mathematical concepts such as entropy and information gain within the analysis of the best attributes that can be considered for making a decision.

**Keywords:** Automatic learning, Decision trees

## Introducción

Los datos de origen para las aplicaciones de inteligencia de negocios (IN) provienen de varias plataformas heterogéneas, que son gestionadas por una variedad de sistemas operacionales y aplicaciones. Partiendo de la premisa de que los sistemas deben aprender y adaptarse a su entorno, el propósito de los procesos de extracción, transformación y carga de datos (ETC) en esta investigación es unir los datos de estas plataformas y transformarlos a un formato que contenga todas las clasificaciones de información necesarias, de tal manera

que a partir de éstos, se tenga capacidad de decidir sobre todo el volumen de información actual y predecirla para llegar a un objetivo determinado.

Por esto, la investigación propone como objetivo general lo siguiente:

- Proponer, desarrollar y probar una metodología para la ejecución de procesos de inteligencia de negocios (IN), que sirvan como estrategia para implantar este tipo de soluciones tecnológicas con éxito en empresas tanto del sector público como privado, mejorando principalmente los procesos de extracción y transformación de fuentes de datos heterogéneos con la ayuda de árboles de decisión.

Y algunos de sus objetivos específicos son los siguientes:

- Desarrollar una metodología que permita establecer de manera óptima tanto en tiempo, como en recursos, soluciones de inteligencia de negocios (IN) con un alto grado de confiabilidad en el conocimiento obtenido.
- Contribuir con una nueva metodología formal en inteligencia de negocios (IN), para la generación de conocimiento en las organizaciones, particularmente en lo concerniente a manejo de indicadores relevantes de un determinado negocio o actividad de la vida.
- Usar aprendizaje automático con el objetivo ID3 de árboles de decisión dentro del proceso de extracción, transformación y carga de información (ETC).

## **Preliminares**

Dentro del estudio existen conceptos teóricos que fortalecen a esta propuesta como son:

**Aprendizaje automático:** Se refiere a un amplio espectro de situaciones en las cuales el aprendiz incrementa su conocimiento o sus habilidades para cumplir una tarea. El aprendizaje aplica inferencias a determinada información para construir una representación apropiada de algún aspecto relevante de la realidad o de algún proceso (Moreno A., 1994).

El aprendizaje automático tiene una amplia gama de aplicaciones, incluyendo motores de búsqueda, diagnósticos médicos, detección de fraude en el uso de tarjetas de crédito, análisis del mercado de valores, clasificación de secuencias de ADN, reconocimiento del habla y del lenguaje escrito, juegos y robótica. Los diferentes algoritmos de Aprendizaje Automático se agrupan en función de la salida de los mismos y uno es:

**Aprendizaje supervisado:** Es el algoritmo que produce una función que establece una correspondencia entre las entradas y las salidas deseadas del sistema. Un ejemplo de este tipo de algoritmo es el problema de clasificación, donde el sistema de aprendizaje trata de etiquetar (clasificar) una serie de vectores utilizando una entre varias categorías (clases).

**Árboles de decisiones:** Uno de los enfoques que tiene el aprendizaje automático, son los árboles de decisiones como modelo predictivo. Se mapean observaciones sobre un objeto con conclusiones sobre el valor final de dicho objeto.

Dos formas principales de árboles de decisión es la desarrollada por Quinlan, al medir la entropía en cada rama y a su vez podemos decir que son más adecuados cuando:

- Las instancias del concepto son representadas por pares atributo-valor.
- La función objetivo tiene valores de salida discretos.

- Las descripciones del objeto para analizar son disyuntivas.

En diferente literatura se conoce como “cantidad de información mutua” a la Ganancia de Información definida por (Quinlan, 1986).

### Modelo de clasificación ID3

Significa inducción mediante árboles de decisión. Es un sistema de aprendizaje supervisado que aplica la estrategia "divide y vencerás" para hacer la clasificación, implementando métodos y técnicas para la realización de procesos inteligentes, representando así el conocimiento y el aprendizaje, con el propósito de automatizar tareas (Peng, Chen, & Zhou, 2012). Podemos decir que su filosofía es:

- Determinar el árbol de decisión mínimo, con la menor entropía para todas las clases.
- El árbol debe estar organizado y entendible para cualquier persona, seleccionando en cada nodo el mejor atributo.
- Realiza una búsqueda de Arriba hacia Abajo, por medio de preguntas.
- Está basado en criterio estadístico.
- Selecciona los atributos en base a Ganancia de Información

### Entropía:

Se considera a la incertidumbre, impureza, desorden de un conjunto de datos relativo a una clasificación binaria.

$$Entropia(S) = \sum_{i=1}^n -p_i \log_2 p_i$$

Donde:

$S$ : es una colección de objetos

$P_i$ : es la probabilidad de los posibles valores

$i$ : las posibles respuestas de los objetos

Si todos los datos pertenecen a una sola categoría la Entropía es cero ( $0 * \text{Log}(0) = 0$ )

Si los datos están mezclados (positivos = negativos = 0.5), la Entropía tendrá un valor máximo de 1<sup>2</sup>

### Ganancia de Información:

Ocurre por el menor valor de entropía esperado ( $S$ ), al ordenar todas las  $S$  basándose en cada atributo.

$$Ganancia(S, A) \equiv Entropia(S) - \sum_{v \in \text{Valores}(A)} \frac{|S_v|}{|S|} Entropia(S_v)$$

Donde:

$S$ : es una colección de objetos

$A$ : son los atributos de los objetos

$V(A)$ : Conjunto de valores que  $A$  puede tomar<sup>i</sup>



### Algoritmo ID3

La implementación de ID3, supone el siguiente código:

**Atributo salida:** atributo a predecir por el árbol.

**Atributos:** lista de atributos a comprobar por el árbol.

1. Crear una raíz para el árbol.
2. Si todos los ejemplos son positivos Retorne (raíz, +)
3. Si todos los ejemplos son negativos Retorne (raíz, -)
4. Si Atributos= $\emptyset$  Retorne (raíz, l)

(l es el máximo valor común de Atributo salida en Ejemplos)

Si ninguna de las anteriores condiciones se cumple.

#### Inicio

1. Seleccionar el atributo A con mayor Ganancia (Ejemplos, A)
2. El atributo de decisión para raíz es A
3. Para cada posible valor  $v_i$  de A
  - 3.1. Añadir una rama a raíz con el test  $A=v_i$
  - 3.2. Ejemplos  $v_i$  es el subconjunto de Ejemplos con valor  $v_i$  para A
  - 3.3. Si Ejemplos  $v_i = \emptyset$  entonces añadir un nodo (n, l) a partir de la rama creada. (l es el máximo valor común de Atributo salida en Ejemplos).  
Sino, añadir a la rama creada el subárbol ID3 (Ejemplos  $v_i$ , Atributo salida, Atributos- $\{A\}$ )

#### Fin

Retornar (raíz)

### Descripción

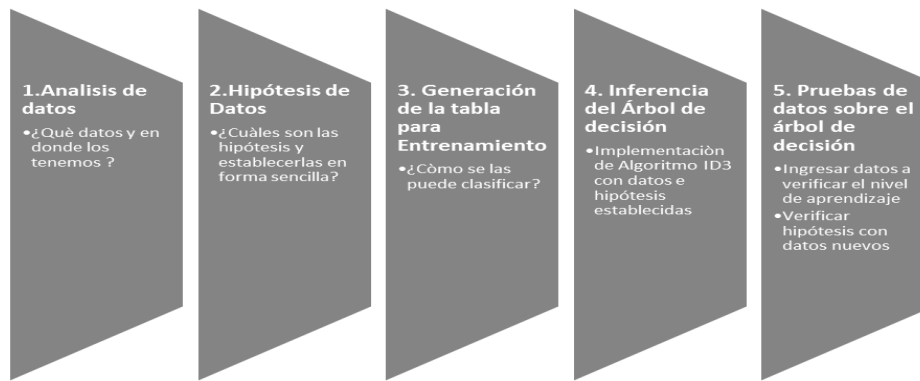
Dentro de la metodología en la fase de diseño y construcción ETC, se busca la opción de crear Árboles de Decisión, generados en base a experiencias concretas con los mejores atributos en lo que se refiere a ganancia de información, que nos permitan testear nuevos datos y procesarlos para obtener resultados sobre hipótesis propuestas.

El criterio principal es mejorar los resultados con la experiencia de información que contamos infiriendo suposiciones en hechos concretos (aprendizaje), lo cual nos permitirá realizar predicciones.

- Para esto utilizaremos el tipo de Aprendizaje Supervisado.
- Tenemos un conjunto de datos para los cuales buscamos resultados.
- Queremos una o varias reglas que establezcan todas las opciones posibles.

### Resultados

En base a lo descrito anteriormente sobre el Diseño ETC, consideraremos los siguientes pasos para la aplicación de ID3 dentro de la metodología M3S.



**Figura 1.**

Fases de la metodología M3S, 2017

**Fuente:** Autores

1. **Análisis de Calidad de Datos:** Se procede con el análisis de los mejores datos que se pueda tomar para un proceso de decisiones. Esto se obtendrá mediante uso de diccionarios de datos, estadísticas y conocimiento de expertos, para poder escoger los atributos más relevantes para el estudio.
2. **Hipótesis de Datos:** El objetivo que tendrá esta parte metodológica es justamente, encontrar una descripción del concepto objetivo mediante suposiciones generales a partir de hechos concretos de los datos en estudio y a raíz de estos, clasificar la información para generalizar los casos nuevos.
3. **Generación de la Tabla para Entrenamiento:** Esta tabla es el producto final de los datos limpios y lo más refinados posible. Es producto también de la formalización de la o las reglas de negocio previamente establecidas, con las cuales se han logrado clasificar la información. A raíz de esta tabla, podemos generar el proceso matemático y estadístico para la creación del árbol de decisión óptimo de acuerdo al algoritmo ID3 y a la objetividad que se haya dado en el análisis.
4. **Inferencia del Árbol de decisión:** Para generar el árbol de decisión se utilizará inferencia inductiva que es aprendizaje supervisado. Este árbol es la aplicación del algoritmo ID3, el cual se basa en las reglas de negocio formalmente establecido, del cual se prevé tener la mayor ganancia de información y el mismo se encuentra detallado en la etapa de construcción. En forma simple para crear el indicado árbol, se procederá de forma recursiva de arriba hacia abajo. Utilizar en cada nodo el atributo más importante, esto quiere decir que es aquél que mejor discrimina los ejemplos que han llegado hasta este nodo y por último clasificando los casos que siguen en el siguiente nivel.
5. **Pruebas de datos sobre el árbol de decisión:** Una vez que contamos con el árbol de decisión, el cual con los cálculos de entropía nos genera la mayor ganancia de información, elaboramos un test para verificar que siempre se obtendrán los mejores resultados con nuevos datos que ingresen a evaluarse en el árbol. Se debe tomar en cuenta que, para algunos casos al probar nuevos datos, estos podrían hacer que cambie la clasificación y reglas de la tabla de entrenamiento, lo cual produciría una alteración en el árbol de decisión generado. Es por esto que al usar M3S, se debe tener claro que Inteligencia de Negocios lo podemos definir matemáticamente como:

In = in + aprendizaje automático

Formalizando esta metodología matemáticamente será:

1. **Análisis de Calidad de Datos:**

Sea  $f : X \rightarrow Y$ , en donde:

$X$  Son todos los casos posibles de entradas

$Y$  Espacio de salidas

2. **Hipótesis de Datos (H)**

Serán todas las  $h \in H$

3. **Generación de la tabla para Entrenamiento:**

Si  $f \in H$  entonces es Aprendizaje considerado

Si  $f \notin H$  entonces no será considerado

4. **Inferencia de Árbol de decisión:**

Usar conocimiento a priori para asegurar que  $H \subset f$  en donde la inferencia se lo realiza mediante:

- Cálculo de la entropía

Dados:

- Un problema con dos clases (positiva y negativa)
- S, el conjunto de ejemplos.

$$Entropia(S) = \sum_i^k p_i \log_2 \left( \frac{1}{p_i} \right) \text{ con } k \text{ clases}$$

- Y también mediante la ganancia que se obtendrá

$$Ganancia(S, A) = Entropia(S) - \sum_{v \in \text{valores de } A} \frac{|S_v|}{|S|} Entropia(S_v)$$

5. **Pruebas de datos sobre el árbol de decisión:**

Utilizaremos medidas comunes de evaluación que son:

$$\text{promedio positivo verdadero} = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$\text{promedio positivo falso} = \frac{FP}{FP + TN}$$

$$\text{presición} = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$\text{corrección} = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN}$$

Donde:

TP: Verdaderos positivos (clasificado: positivo, realidad: positivo)

TN: Verdaderos negativos (clasificado: negativo, realidad: negativo)

FP: falsos positivos (clasificado: positivo, realidad: negativo)

FN: falsos negativos (clasificado: negativo, realidad: positivo)

### Conclusiones

- Las eficiencias de los algoritmos de Árboles de decisión dependen en gran medida del conocimiento que nos entreguen los expertos de negocio, para generar una óptima tabla de entrenamiento (TE).
- La implementación de ID3 sobre TE, nos entrega un Árbol de decisión que mantiene la mayor ganancia de información posible, que sin embargo está sujeto a cambios en base a nueva información que puede ingresar al sistema.
- Como resultados iniciales, se creó una Metodología dentro de ETC, en la cual se implementó ID3 para extraer información con mayor calidad de cualquier almacenamiento.
- Finalmente, basados en resultados iniciales, que deberán ser nuevamente validados, consideramos que los objetivos planteados pueden ser alcanzados en el tiempo previsto.

### Referencias

- Moreno, A. (1994). *Aprendizaje automático*. Barcelona, España: Ediciones UPC. doi:ISBN: 9788483019962
- Peng, W., Chen, J., & Zhou (2012). *An implementation of ID3 Tree learning algorithm*. Sidney, Australia: University of New South Wales, School of Computer Science & Engineering. doi:weipengtiger@hotmail.com
- Quinlan, J. (1986). *Induction of Decision trees*. *Machine learning*. Kluwer Academic Publishers. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/BF00116251>

# Propuesta de modelo de gobierno de datos para interoperabilidad en sistemas healthcare

Jorge Delgado Altamirano

Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

jdelgado@unach.edu.ec

## Resumen

La gestión de los datos en el sector de la salud debe ser precisa para alcanzar los objetivos de una organización, para la implementación de un modelo de gobierno de datos como un activo estratégico se requiere establecer políticas y procedimientos para el control y gestión de los datos, que proporcionen transparencia en la información y toma de decisiones. En este artículo se realiza un análisis de los modelos de gobierno de datos IBM, DGI, DAMA, POAC, para elaborar una propuesta de modelo de gobierno de datos para interoperabilidad en sistemas healthcare. El modelo propuesto es una variante al modelo POAC, se utiliza la metodología Soft Systems Methodology (SSM) que permite construir un modelo basado en los problemas encontrados en la organización, se incluye el elemento comunicación. Para la validación del modelo de gobierno de datos se desarrolló una Api Health End Point (AHP) que permite la comunicación entre sistemas heterogéneos, se realizó pruebas RESTful Stress utilizando un script desarrollado en java para generar peticiones http que permita simular el servicio web de node.js en una base de datos. La prueba RESTful fue aplicada en "Sistema de Historias Clínicas y Salud Ocupacional" de la Universidad Nacional de Chimborazo.

**Palabras claves:** Gobierno de datos, Modelo de gobierno de datos healthcare, Gobierno sistemas healthcare.

## Abstract

Data management in the health sector must be precise to achieve the objectives of an organization, for the implementation of a data governance model as a strategic asset is required to establish policies and procedures for the control and management of data, which provide transparency in information and decision making. In this article an analysis of the data governance models IBM, DGI, DAMA, POAC, is made to elaborate a proposal of data governance model for interoperability in healthcare systems. The proposed model is a variant to the POAC model, using the Soft Systems Methodology (SSM) methodology that allows to build a model based on the problems found in the organization, including the communication element. For the validation of the data governance model, an Api Health End Point (AHP) was developed that allows the communication between heterogeneous systems, RESTful Stress tests were performed using a script developed in Java to generate http requests that allows to simulate the web service of node.js in a database. The RESTful test was applied in the computer system "System of Clinical Histories and Occupational Health" of the National University of Chimborazo.

**Keywords:** Data governance, Data governance model healthcare, Governance healthcare systems.

## Introducción

La resolución WHA66.24 (2013) de la Organización Mundial de la Salud (OMS), hace referencia a la calidad de la información sobre asistencia sanitaria en las plataformas de Internet y afirma que es esencial supervisar la gestión de las bases de datos y aumentar así el nivel de confianza en la asistencia sanitaria, servicios, incluidos los sistemas de salud electrónica. También define las políticas y procesos de gobierno para la implementación

de la e-salud en los hospitales y centros de salud, específicamente en relación con la adquisición, participación, uso y reutilización de los datos de salud.

### **Gobierno de datos**

El gobierno de datos es la práctica de organizar e implementar políticas, procedimientos y estándares para el uso efectivo de los activos de información estructurados y no estructurados de una organización. Jayant Dani y col. (2016) menciona la definición de Data Governance Institute en relación al gobierno de datos como: "el ejercicio de la toma de decisiones y la autoridad para asuntos relacionados con el gobierno de datos". El gobierno de datos es la práctica empresarial que define y administra estrategias para personas, procesos y tecnologías para asegurar que los activos de datos sean formalmente protegidos y administrados en una organización, sin embargo, es necesario en la planificación de gobierno de datos considerar la participación de los stakeholders, que promuevan una cultura organizacional para el uso efectivo de los datos.

Thomas E. Elliott y col. (2013) menciona que el gobierno de datos, se ha convertido en crítico para la integridad de los datos de los sistemas healthcare. Richard B. Saltman y col. (2015) manifiesta, que las organizaciones de salud tienen múltiples sistemas de información que alimentan sus bases de datos, sin embargo, es necesario disponer de un gobierno de datos que establezca procesos de control y asignación de responsables de la gestión de los datos, de forma que permita el uso eficiente de la información en los procesos de toma de decisiones.

### **Modelos de gobierno de datos**

El modelo de gobierno de datos son procesos estructurados orientados al control y gestión de los datos, roles y responsabilidades en una organización, es decir, la asignación de funciones y actividades con el fin de proporcionar una mayor transparencia en la información y en la toma de decisiones.

El modelo de gobierno de datos según Jérôme Béranger (2016), ayuda a proporcionar una mejor información para la toma de decisiones y pueden ofrecer una ventaja competitiva, así como satisfacer los requisitos de varios dominios de usuario para datos comúnmente definidos y administrados.

El Data Governance Institute, manifiesta que las organizaciones deben ser capaces de tomar decisiones sobre cómo administrar los datos, obtener valor agregado, minimizar el costo y la complejidad, administrar el riesgo y asegurar el cumplimiento de los requisitos legales.

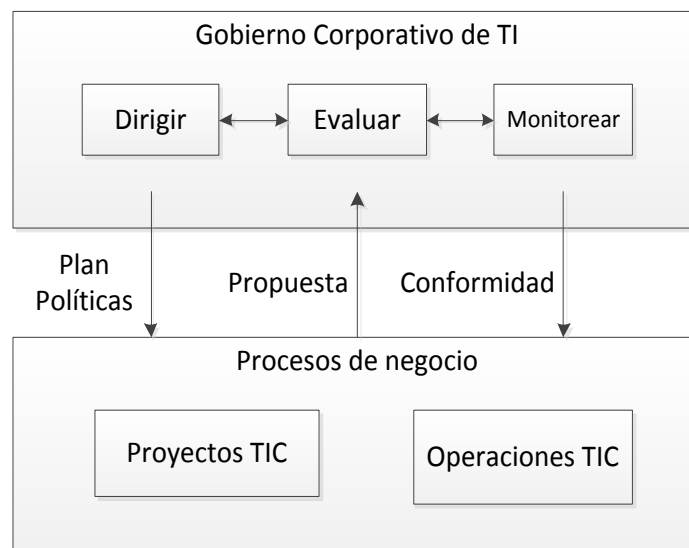
El primero intento para desarrollar un modelo de gobierno de datos lo realizó Wende (2007), en la conferencia SIAC. El modelo de gobierno de IBM es ligero tiene un nivel de madurez. Janne J. Korhonen y col. (2013), Ibrahim Alhassan y col. (2016) presentan las primeras definiciones de gobierno de datos, coinciden en que el gobierno de datos se refiere a las decisiones y responsabilidades en relación con la gestión de activos de datos. Además, en 2010 la Asociación de la Industria DAMA Internacional publicó datos de gestión de DM-BOK, que también contiene algunos conceptos de gobierno de datos. Sin embargo, como Boris Otto y col. (2011) señaló, los enfoques de IBM, DAMA, DGI se centran en los aspectos individuales de gobierno de datos en una organización, lo cual conduce a soluciones aisladas. Las organizaciones deben tener en cuenta una serie de aspectos cuando se trata de organizar el gobierno de datos tanto a nivel interno y externo, si consideramos que en la actualidad los procesos de comunicación y gestión de la información resultan fundamentales en la toma de decisiones, calidad de servicios, acceso y transparencia de la información. El modelo POAC está centrado en los problemas de la organización, la propuesta de nuestro estudio es una

variante al modelo POAC que recoge los elementos y principios de los modelos de gobierno de datos maduros.

### Estructura gobierno de datos

El modelo EDM Evaluate - Direct - Monitor propuesto en ISO / IEC 38500 es el modelo más utilizado en la actualidad como se detalla en la figura 1. Tomi Dahlberg y col (2015) ISO / IEC 38500 considera tres tareas principales y seis principios para la implementación de la gobernanza de TI. El modelo EDM establece que el líder debe controlar TI a través de tres tareas principales:

- a) Evaluar el uso actual y futuro de TI.
- b) Dirigir la preparación e implementación de planes y políticas para asegurar que el uso de TI cumpla con los objetivos de negocio.
- c) Vigilar la conformidad con las políticas y el desempeño con los planes. ISO / IEC 38500 puede utilizarse en cualquier organización, incluyendo empresas públicas o privadas, agencias gubernamentales y organizaciones sin fines de lucro.

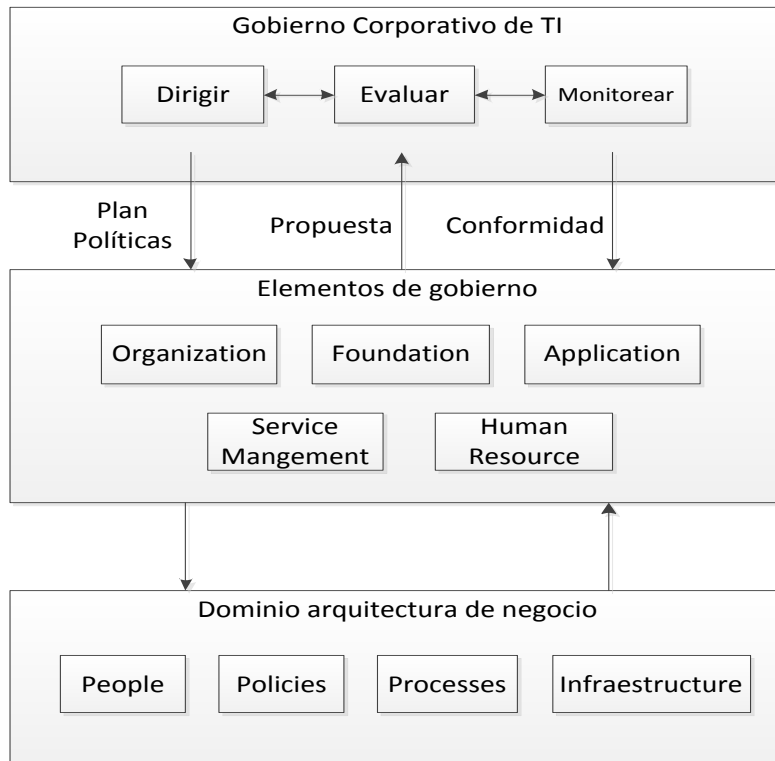


**Figura 1.**

Modelo EDM - ISO / IEC 38500

**Fuente:** ISACA ([www.isaca.org](http://www.isaca.org))

El modelo TED-CGM (Task-Element-Domain Collaborative), es una variante al modelo de gobernanza colaborativo EDM que se muestra en la figura 2, se considera las tareas, elementos de gobierno de TI, y dominio de la arquitectura negocio.



**Figura 2.**

Modelo TED-CGM

Fuente: ISACA ([www.isaca.org](http://www.isaca.org))

El modelo TED-CGM es un modelo de tres dimensiones, que representan respectivamente la tarea de gobernanza, elementos de gobernanza y el dominio de la gobernabilidad.

La tarea de gobernanza, dirige y supervisa tres tareas principales del modelo EDM: dirigir, monitorear, evaluar. Los elementos de gobernanza, que reflejan los problemas de TI en cinco aspectos: organización, fundación, aplicación, gestión de servicios y recursos humanos.

Dominio de arquitectura de gobierno de TI es una visión distintiva de la gobernanza y se divide en varios objetos de gobernanza de acuerdo a las necesidades de gobierno específico. El modelo es más orientado a las funciones de negocio, componentes de negocio, procesos de negocio.

Los procesos que están bajo la responsabilidad de los directivos en una organización, se deben alinear con las políticas del negocio y deben tomar decisiones que respondan a los intereses de la organización, sin embargo, se necesita una estructura clara que establezca responsabilidades en la gestión de datos. Las políticas y procedimientos permiten asegurar que el gobierno de datos se realiza de forma adecuada, mediante tareas de dirección, monitoreo y evaluación.

### Interoperabilidad en sistemas healthcare

Los modelos de gobierno de datos según Patti Brooks y col. (2015) están centrados en personas, tecnologías y organización, sin embargo, es necesario fortalecer los procesos de integración de datos de fuentes externas. Los datos clínicos deben estar integrados con sistemas informáticos para asistencia sanitaria, que permita la



interoperabilidad entre sistemas informáticos y profesionales de la salud, para apoyar procesos de toma de decisiones y políticas de salud preventiva. Hebda y col. (2013) manifiesta que los pacientes a futuro, participarán de forma interactiva en los procesos de asistencia sanitaria, razón por la cual es necesario establecer procesos de seguridad e interoperabilidad en el intercambio de datos.

Mark Gaynor y col. (2014) manifiesta, que los sistemas informáticos métodos tradicionales para el diseño y desarrollo, siendo necesario fortalecer la interoperabilidad. Walker y col. (2005) considera importante la interoperabilidad entre sistemas de asistencia sanitaria, en la actualidad deben soportar aplicaciones en entornos web, bases de datos no relacionales que permita el eficiente intercambio de datos. Los requerimientos de la industria de la salud están relacionados con el uso de aplicaciones que soporten entornos web, Rothenberg y col. (2008) considera necesario establecer modelos, políticas y estándares para la interoperabilidad.

Los ecosistemas según Ángelo Rossi Mori y col. (2013) relacionan las organizaciones de salud y las personas, que permita la conformación de equipos de asistencia sanitaria personalizados, mediante el uso de aplicaciones informáticas que se integren con nuevas tecnologías, sin embargo, es necesario establecer políticas y normativas que se ajusten a la realidad de cada organización.

La asistencia sanitaria ambulatoria a pacientes, según European Commission (2007) permite la conformación de círculos de salud integrados por pacientes, familiares y profesionales de la salud encargados del monitoreo del paciente. La telemedicina, sistemas personalizados de salud y nuevas tecnologías, permiten la captura de datos clínicos para el análisis y monitoreo en tiempo real de los pacientes, apoyando los procesos de toma de decisiones.

Un programa de gobierno de datos efectivo debe considerar los siguientes componentes: estrategia, organización, tecnología, monitoreo, políticas, procedimientos. Los sistemas de información son un factor clave de éxito para la investigación médica y asistencia sanitaria. En la actualidad, la mayoría de estos sistemas son heterogéneos, los modelos de datos limitan el intercambio de datos y análisis de forma integrada, debido a la complejidad de la terminología médica, el número de modelos de datos es muy alto. En la actualidad, la gran mayoría de estos modelos no están disponibles a la comunidad científica. El portal de modelos de datos médicos (MDM), fomenta el intercambio de modelos de datos médicos. El MDM es una infraestructura europea de la información, proporciona una plataforma multilingüe para el intercambio y la discusión de los modelos de datos en la medicina, tanto para la investigación médica y la asistencia sanitaria.

### **Importancia del problema**

La gestión de datos puede considerarse como una función central en una empresa, ya que su influencia en sus procesos. Las actividades realizadas a través de una iniciativa de gobierno de datos proporcionan los controles y balances que cambian la forma en que se realizan las actividades en una empresa. La gestión de datos se puede considerar como el "gobierno" de los datos y se centra exclusivamente en la gestión de los activos de datos.

El modelo de gobierno de datos DGI es una estructura lógica para clasificar, organizar y comunicar las actividades complejas involucradas en la toma de decisiones y la adopción de medidas en la gestión de los datos e una organización.

El modelo DAMA define once áreas de conocimiento para la gestión de datos que incluye la planificación, supervisión y control, una de las áreas de conocimiento es la integración de datos e interoperabilidad.

El IBM Data Governance Unified Process considera catorce pasos: diez pasos requeridos y cuatro pasos opcionales, junto con las herramientas de software de IBM y las mejores prácticas para apoyar un programa efectivo de gobierno de datos. Los diez pasos requeridos son necesarios para establecer las bases de un programa efectivo de gobierno de datos.

Una organización puede a continuación seleccionar una o más de los cuatro pasos opcionales, que son los siguientes: administración de datos maestros, análisis de gobierno, seguridad y privacidad, y gestión del ciclo de vida de la información.

El modelo POAC se basa en el concepto de ciclos de datos e información y estructura de gobierno de los datos que apoyan un gobierno de datos efectivo. El modelo POAC adopta los principios de la gestión de datos de los modelos IBM, DGI y DAMA, involucra a los stakeholders para establecer una cultura organizacional. El modelo POAC utiliza Soft Systems Methodology (SSM) que permite construir un modelo basado en los problemas encontrados en la organización.

Este trabajo de investigación presenta un análisis de gobierno de datos, modelos de gobierno de datos IBM, DGI, DAMA, POAC, en la sección tres se describe la metodología, en la sección cuatro de presenta una propuesta de modelo de gobierno de datos para interoperabilidad en sistemas healthcare, la sección cinco se presenta los resultados del modelo de gobierno de datos.

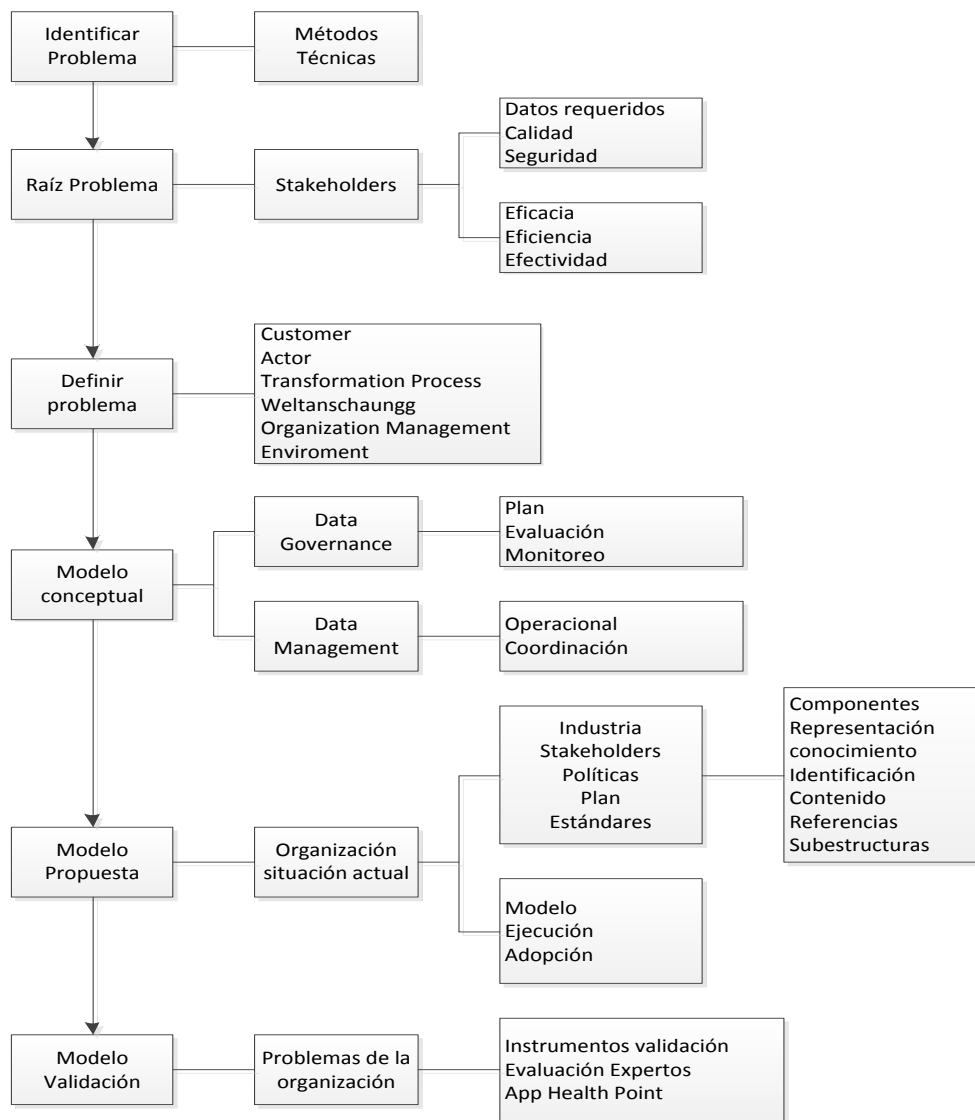
### **Metodología**

Para esta investigación se realizó una revisión de literatura relacionada a los modelos de gobierno de datos IBM, DGI, DAMA, POAC. La propuesta es una es una variante al modelo POAC elaborado por Hanung Nindito Prasetyo y col. (2015), se basa en los conceptos de la metodología SSM se plantea un modelo holístico.

En este artículo se propone un modelo de gobierno de datos que permita fortalecer la interoperabilidad y transparencia en los sistemas healthcare, para la validación se desarrolló una Api Health Point, que permite la interoperabilidad entre sistemas independiente de los lenguajes de programación y sistemas operativos. Se aplicó la prueba RESTful Stress para generar peticiones http, permitiendo simular el servicio web de node.js en una base de datos, para lo cual se utilizó el sistema informático “Sistema de Historias Clínicas y Salud Ocupacional” de la Unidad de Riesgos Laborales, Salud Ocupacional y Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Chimborazo. (1)

### **Resultados**

La propuesta de modelo de gobierno de datos es una variante al modelo POAC propuesto por Hanung Nindito Prasetyo y col. (2015), se basa en los modelos IBM, DGI, DAMA se elaboró una propuesta de modelo holístico con énfasis en la comunicación que permite la interoperabilidad entre sistemas healthcare, considerando criterios de calidad y seguridad en los datos. El modelo POAC utiliza la metodología de SSM, los pasos se detallan en la figura 3.

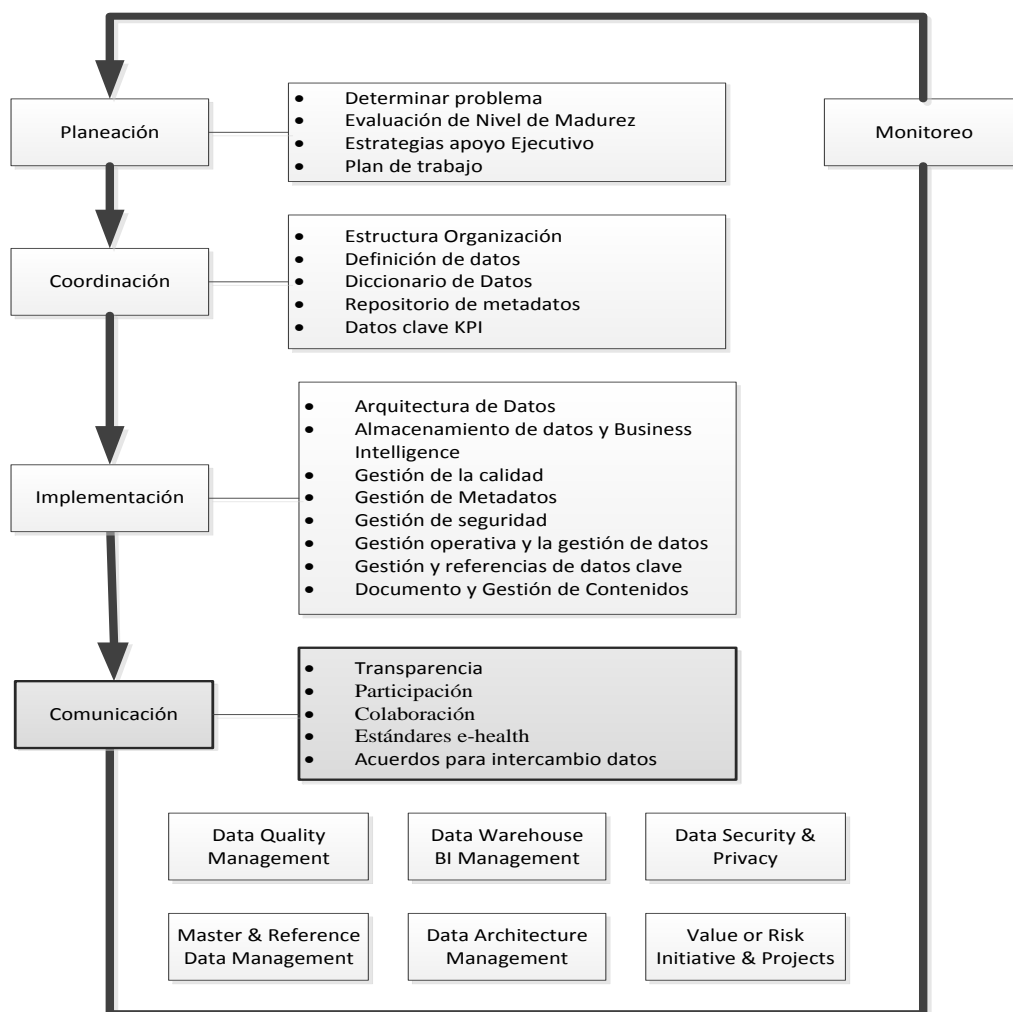


**Figura 3.**

Modelo conceptual de gobierno de datos SSM

**Fuente:** Hannug Nindito Prasetyo y Col (2015)

La propuesta de modelo de gobierno de datos se caracteriza por ser un modelo flexible alineado a los objetivos de la organización, incorpora procesos estructurados para el control y gestión de los datos, ver figura 4. El elemento Comunicación promueve la transparencia de la información, como aspecto innovador se desarrolló una AHP para intercambio de datos, interoperabilidad entre sistemas healthcare, considerando criterios de seguridad y privacidad de la información.

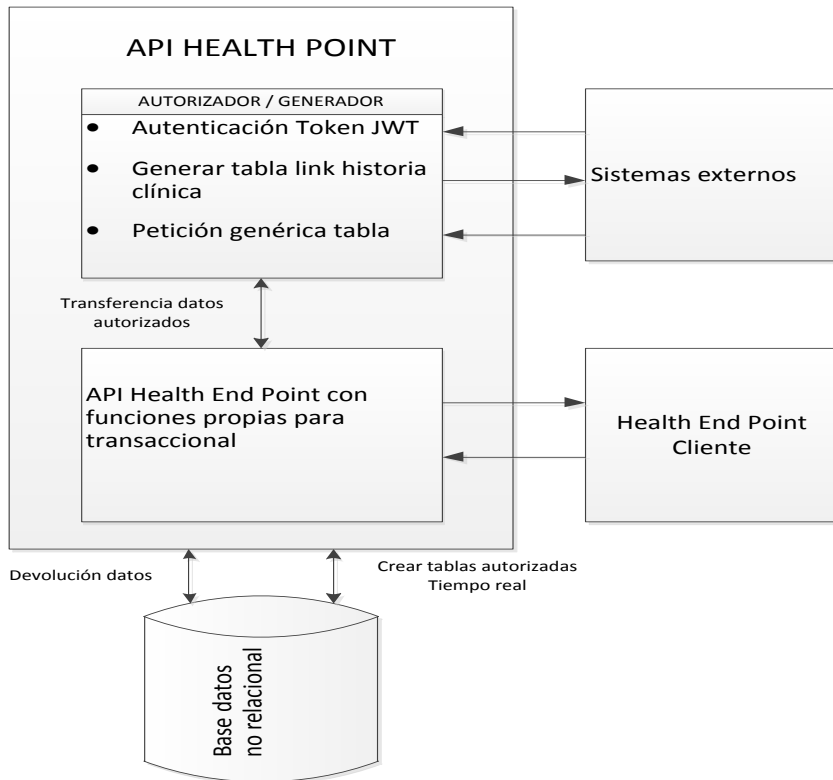


**Figura 4.**

Propuesta modelo de gobierno de datos, variante modelo POAC

**Fuente:** Autores

El elemento comunicación considera los siguientes procesos: transparencia, participación, colaboración, estándares healthcare, y acuerdos para intercambio datos. El modelo de gobierno de datos a partir de las necesidades de la organización, promueve la participación de los stakeholders en el gobierno de datos a través de procesos de transparencia, participación, y colaboración apoyados en la infraestructura tecnológica. La atención ambulatoria en las organizaciones de salud demanda la gestión eficiente de la información, para promover la interoperabilidad entre sistemas healthcare se desarrolló una AHP para el intercambio de datos, considerando las políticas de seguridad y privacidad de información establecida en las organizaciones de salud, la AHP se constituye en un intermediario entre los sistemas para la captura y transferencia de datos, en la figura 5 se muestra la arquitectura.



**Figura 5**

Arquitectura Integrada Api Health End Point

**Fuente:** Autores

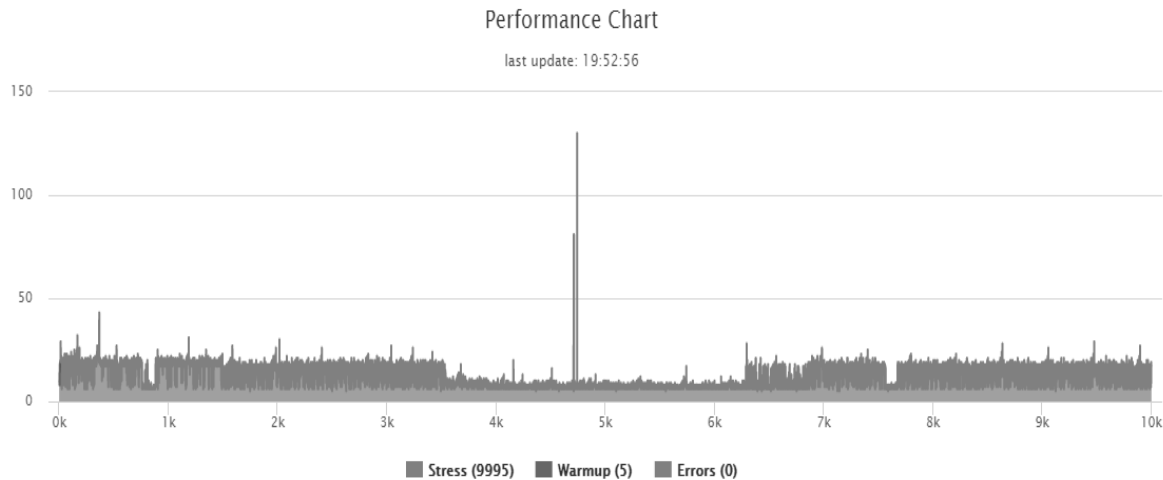
Para la interoperabilidad entre sistemas healthcare, a través de AHP mostrado en la figura 5 se puede acceder a los sistemas de salud manteniendo las políticas de privacidad, seguridad y calidad. La Api consta de un proceso en el cual se autentica con tokens JWT en un módulo de administración para la creación de una cuenta externa y la generación de permisos para el uso de datos, para lo cual se genera una URL de acceso para el consumo de datos. A partir de la URL se tiene en la Api la carga de los servicios para su consumo, al crear un nuevo acceso del sistema externo, se considera como referencia un campo clave que identifique a un paciente, de forma que permita obtener datos autorizados de historia clínica, la base de datos recibe la nueva tabla en tiempo real.

### Discusión

Las pruebas API RESTful permiten examinar la interoperabilidad, comunicación entre diferentes aplicaciones de software. Mediante una prueba de carga se puede verificar que la interfaz de comunicación entre diferentes aplicaciones continúe haciendo cola satisfactoriamente, permitiendo el intercambio de datos cuando múltiples interacciones se acumulan.

Para la validación de la App Health Point propuesta en el modelo de gobierno de datos healthcare, se utilizó la herramienta RESTful Stress 1.5 para generar peticiones http de forma simultánea y observar que la ejecución REST continúe funcionando. Para la prueba RESTful Stress se utilizó un script para generar peticiones http, es decir, se realizó una carga atómica mediante el ingreso valor por valor en un bucle de repetición. El script cliente fue desarrollado en java, permitiendo simular el servicio web de node.js en una base de datos, para lo cual se utilizó el sistema informático “Sistema de Historias Clínicas y Salud Ocupacional” de la Unidad de

Riesgos Laborales, Salud Ocupacional y Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Chimborazo. Durante la prueba se replicó una historia clínica varias veces, en el script se utilizó 10000 datos para validar el tiempo de iteración e interoperabilidad basado en tiempos de respuesta, los resultados se muestran en la figura 6.



**Figura 6.**

Resultados prueba RESTful Stress

Fuente: Autores

Iteraciones 10000

Máximo en responder 130 milisegundos

Mínimo en responder 5 milisegundos

Duración total test: 126893 milisegundos

Promedio de respuesta: 12 milisegundos

Mejor respuesta 10 milisegundos

### Conclusiones

El modelo de gobierno de datos, establece las políticas y procedimientos para el control y gestión de los datos que apoyen de forma efectiva a la toma de decisiones en una organización, es importante establecer estrategias que generen una cultura en los stakeholders para la gestión eficiente de los datos. El modelo de gobierno de datos debe ser flexible, es decir que se adapte a las necesidades de la organización, se debe iniciar con una evaluación del nivel de madurez de gobierno de datos. La metodología SSM identifica los problemas e involucra a los stakeholders en soluciones que sean estandarizadas y difundidas en toda la organización generando un feedback, que permita a la organización alcanzar un nivel de madurez en el gobierno de datos. Los modelos de gobierno de datos tradicionales IBM, DGI, DAMA, son la base para guiar iniciativas de un gobierno abierto que promueva la participación de los stakeholders, razón por la cual es necesario que en la implementación de un gobierno de datos se considere el elemento comunicación y los procesos: transparencia, participación, colaboración, estándares healthcare y acuerdos para intercambio datos. En la investigación se utilizó una Api Health Point (AHE), que permite la comunicación entre sistemas healthcare heterogéneos, cumple con los criterios de funcionalidad de la norma ISO/IEC 9126: adecuación, exactitud, interoperabilidad, seguridad.

## Agradecimiento

La investigación se realizó con el apoyo de la Dra. Blanca Maygalema León, Médico Ocupacional e Ing. Elisa López, Directora de la Unidad de Riesgos Laborales, Salud Ocupacional y Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Chimborazo. Agradezco las facilidades brindadas para el desarrollo de la investigación.

## Referencias

- Béranger, J. (2016). Management and Governance of Personal Health Data. Big Data and Ethics. *The Medical Dataspher*, pp. 167-236. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-78548-025-6.50003-8>
- Gregory, A. (2011). Data governance Protecting and unleashing the value of your customer data assets. *Journal of Direct, Data and Digital Marketing Practice*, 12, Issue 3, pp. 230–248.
- Hanung Nindito Prasetyo, K. S. (2015). Designing a data governance model based on soft system methodology (SSM) in organization. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 78(1).
- Ibrahim Alhassan, D. S. (2016). Data governance activities: an analysis of the literature. *Journal of Decision Systems*, 64-75. doi: 10.1080/12460125.2016.1187397
- Janne J. Korhonen, I. M. (2013). Designing Data Governance Structure: An Organizational Perspective. *GSTF Journal on Computing*, 2(4).
- Jayant Dani, S. R. (2016). Data Governance – from Rocks to Diamonds. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*. 3.
- Otto, B (2011). *Data Governance. Business & Information Systems Engineering*. doi: 10.1007/s12599-011-0162-8
- Richard B. Saltman, A. D. (2015). Governance, Government, and the Search for New Provider Models. *Int J Health Policy Manag*, 5(1), pp. 33-42. doi: 10.15171/ijhpm.2015.198
- Ruger, J. P. (2014). *International institutional legitimacy and the World Health Organization*. BMJ Quality & Safety. International institutional legitimacy and the World Health Organization. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1136/jech-2013-203272>
- Thomas E. Elliott, J. H.-A. (n.d.). *Data Warehouse Governance Programs in Healthcare Settings: A Literature Review and a Call to Action*. EDM Forum Community. doi: <http://dx.doi.org/10.13063/2327-9214.1010>
- Tomi Dahlberg<sup>1</sup>, T. N. (2015). A framework for the corporate governance of data – theoretical background and empirical evidence. *Business, Management and Education*, 13(1), pp. 25-45. doi:10.3846/bme.2015.254

# Estudio para la migración del protocolo IPv4 al protocolo IPv6 en el plenario de la Asamblea Nacional

**Danny Aguaiza Tenelema**

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí  
dannyaiguaiza@hotmail.com

**Ulises Carofilis Moreira**

Asamblea Nacional del Ecuador  
ucarofilis@gmail.com

**Carlos Manosalvas García**

Municipio de Manta  
cmanosalvas@outlook.com

## Resumen

La versión 4 (IPv4) constituye uno de los protocolos actuales para la conexión a internet empleado en el mundo empresarial, independientemente de sus limitaciones para el proceso de conexión. El objetivo del trabajo es diseñar la migración hacia el protocolo IPv6 en la infraestructura de red del Pleno de la Asamblea Nacional del Ecuador. Se aplican métodos analíticos descriptivos y cuantitativos que permitieron obtener resultados precisos para la construcción de base, para la migración hacia el protocolo IPv6 dentro de institución escogida para el estudio. Como parte de los resultados se indica que el proceso de migración puede realizarse dentro de la red del plenario, se analizan las características de los dispositivos de la red y se determinó que todos cuentan con soporte para IPv6. Dentro de los aspectos conclusivos del estudio sobresale que la migración se debe llevar a cabo de forma paulatina, estableciéndose un período de transición entre ambos protocolos, a modo de disminuir el impacto del funcionamiento sobre la red.

**Palabras claves:** IPv4, IPv6, Protocolo, Plenario, Migración

## Abstract

Version 4 (IPv4) is one of the current protocols for the internet connection used in the business world, regardless of its limitations for the connection process. The objective of the work is oriented towards the design of protocol IPv6 in the network infrastructure of the Plenum of the National Assembly of Ecuador. We apply descriptive and quantitative analytical methods that allowed obtaining accurate results for the construction of base for the migration towards the protocol IPv6 within institution chosen for the study. As part of the results it is indicated that the migration process can be carried out within the network of the plenary, the characteristics of the devices of the network are analyzed and it was determined that all have support for IPv6. Within the conclusive aspects of the study it is emphasized that the migration should be carried out in a gradual way, establishing a period of transition between both protocols, in order to reduce the impact of the operation on the network.

**Keywords:** IPv4, IPv6, Protocol, Plenary, Migration



## **Introducción**

Internet es una red integrada por miles de redes y computadoras interconectadas en todo el mundo mediante cables y señales de telecomunicaciones, que utilizan una tecnología común para la transferencia de datos (Zamora, 2014).

Internet es también un sistema mundial de redes de computadora interconectadas. Las computadoras y las redes de computadoras intercambian información utilizando TCP/IP (Protocolo de Transmisiones/Protocolo de Internet) para comunicarse entre sí.

Uno de los protocolos para la conexión a internet es el protocolo de Internet versión 4 (Ipv4), el cual ha sido el utilizado hasta la actualidad. Sin embargo, la alta demanda de usuarios conectados a internet, ha hecho de este protocolo una opción limitada para llevar a cabo el proceso de conexión, por lo cual se han realizado cambios para suplir las necesidades de conexión de millones de usuarios. Claramente nunca se cuestionó la cantidad de usuarios que llegaría a tener internet algún día (Salazar, 2013).

El desarrollo de esta investigación permitirá obtener resultados precisos, que constituirán la base para la migración hacia el protocolo Ipv6 dentro de la Asamblea Nacional del Ecuador.

## **Importancia del problema**

La versión inicial comercial del Protocolo de Internet contaba con direcciones de 32 bits de longitud, o sea alrededor de 4.000 millones de direcciones. Analizando que actualmente cada una gran parte de las personas del planeta tiene varios dispositivos, es de entender que esta cantidad llegue a ser pequeña en algún momento. Actualmente la versión conocida y utilizada en todo el mundo es la 4, sin embargo, se ha desarrollado una versión nueva conocida como Ipv6. Dicha versión cuenta con 128 bits, o sea sextillones de direcciones, las cuales son suficientes para que cada persona utilice más direcciones que las direcciones que todo el internet actualmente (Palet, 2012).

Para que internet crezca se necesita cambiar a IPv6. Con la implementación del nuevo protocolo se logrará que se conecten muchos usuarios a la red. Específicamente, para una empresa conectada a la red, es esencial estar preparada para la migración, ya que podría estar en riesgo de perder usuarios. La razón está dada porque algunos usuarios solo tendrán acceso a IPv6, entonces quedarán páginas que solo serán visibles con IPv4, dichos usuarios no podrán llegar a ellas.

## **Metodología**

Para cumplir con el objetivo de esta investigación, se realizó un análisis sistemático de los mecanismos de transición, de las aplicaciones y funcionalidades que ofrecen los protocolos Ipv4 e Ipv6, para la transmisión de información e implementación de aplicaciones relacionadas a la institución (Sistema E-Curul), se evaluaron aspectos como QoS, acceso al medio, envío/recepción y control de tráfico, entre otras características técnicas de ambas tecnologías para determinar el impacto que a nivel tecnológico ejercería la migración de protocolos.

## **Mecanismos para la transición de Ipv4 a Ipv6**

El proceso de transición de Ipv4 a Ipv6 no se podrá realizar de un día para el otro, ya que las dos versiones de Ip deberán convivir durante algunos años. Es decir que el protocolo Ipv6, se puede implementar como una actualización de software en los nodos Ipv4 actuales, para esto, se define un tiempo de transición con el

objetivo de minimizar los costes de los nuevos equipos y cuidar las versiones realizadas en las empresas tecnológicas.

Los mecanismos de transición se clasifican en 3 grupos importantes que son:

- Dual Stack (Doble Pila).
- Túneles.
- Traducción.

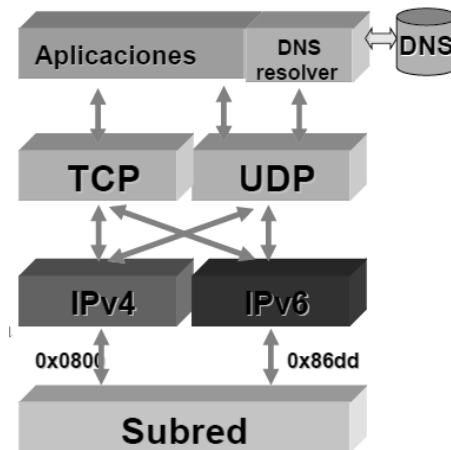
### Mecanismo Doble Pila (Dual Stack)

Este es uno de los métodos más utilizados en los procesos de transición, debido a que utiliza un nodo de doble pila IPv6/IPv4, que puede llegar a comunicarse tanto como un nodo IPv4 ó como un nodo IPv6, para lograr este proceso cada nodo IPv6/IPv4 debe tener configurado los dos tipos de direcciones. La implementación del método Dual Stack permite desactivar o activar una de las pilas, por esta razón un nodo puede tener 3 modos de funcionamiento:

- Cuando la pila IPV4 se activa y la pila IPV6 se desactiva, se comporta como un solo nodo IPV4.
- Cuando la pila IPV6 se activa y la pila IPV4 se desactiva, se comporta como un único nodo IPV6.
- Cuando se encuentran disponibles las pilas IPV4 e IPV6, el nodo puede usar los dos protocolos. (6SoS, 2015, p. 38)

Un nodo IPv4/IPv6 utiliza una dirección para cada versión de protocolo.

Es muy importante mencionar que IPv4 utiliza mecanismos de configuración para direcciones IPV4 (configuración estática o DHCP) e IPv6 utiliza mecanismos de configuración para direcciones IPV6 (configuración estática o automática).



*Figura 1.*

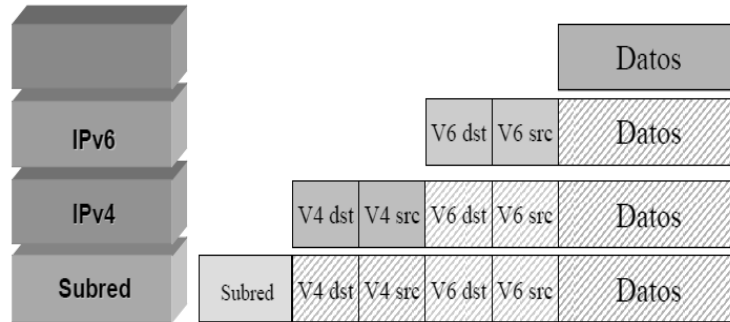
3 DNS

Fuente: (6SoS, 2015, p. 39)

### Túneles

Este método permite transmitir paquetes IPv6 mediante una infraestructura IPv4, es decir se encapsula el contenido del paquete IPv6 en un paquete IPv4.

Ramón Millán (2001, parte II) se refiere a que el nodo IPv6 que está unido con el túnel, toma el paquete IPv6, y lo dispone en el campo de datos de un paquete IPv4. Este paquete IPv4 tiene como dirección de destino el nodo IPv6 en la parte final del túnel y es enviado al primer nodo IPv4, que es parte del túnel. Los nodos IPv4 del túnel orientan el paquete, sin tener certeza de que el paquete IPv4 que están manejando tiene un paquete IPv6. Por último, cuando el paquete llega al final del receptor IPv6 del túnel, este determina que el paquete IPv4 contiene un paquete IPv6 que debe ser extraído (Pérez, 2013, p. 18)



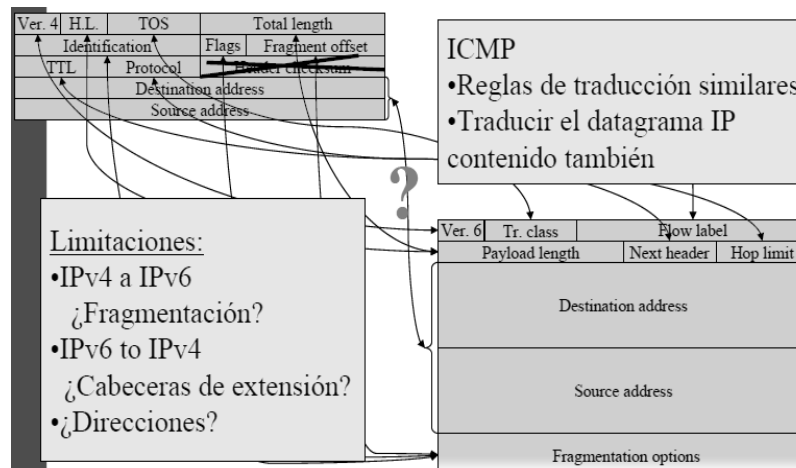
**Figura 2.**

Túneles configurados

Fuente: (Pérez, 2013, p. 20)

### Traducción

Este método de traducción contribuye a un enrutamiento sencillo y claro de la comunicación entre varios nodos que sólo soportan a una versión del protocolo IP, o que utilizan Doble Pila. De igual modo, pueden operar de diversas formas o en capas distintas, traduciendo cabeceras IPv4 en cabeceras IPv6 y viceversa, actuando en el intercambio del tráfico TCP a UDP o realizando conversiones de direcciones (Rivera J., 2015).



**Figura 3.**

Método traducción

Fuente: (Rivera J., 2015)

**Análisis comparativo entre los mecanismos de transición**

A continuación, una comparación de los 3 mecanismos existentes para el proceso de transición:

**Tabla 1.**

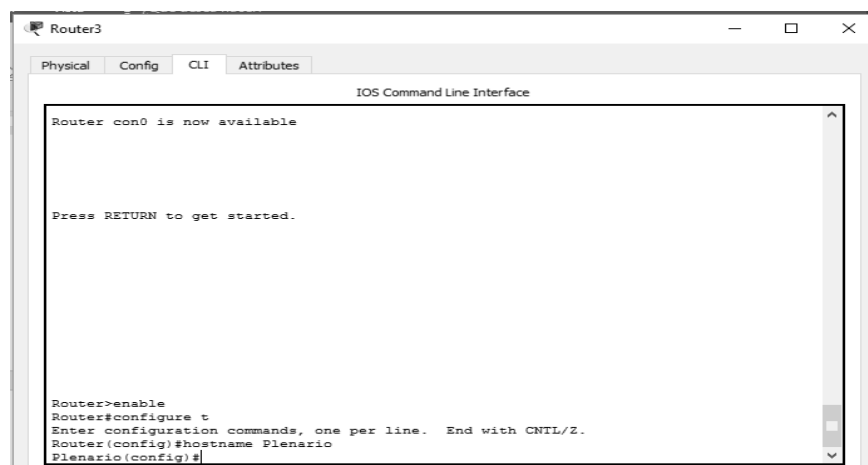
Cuadro comparativo de mecanismos de migración

Descripción	Dual Stack	Túnel	Traducción
Implementación	Fácil de implementar, necesita que los hosts y los routers soporten las dos versiones de IP.	Más complejo	Más complejo
Aceptación	Máxima	Media	Media
Opciones	Obliga a cada ordenador a retener una dirección Ipv4.	Conecta nubes Ipv4 residuales a través de infraestructura Ipv6.	Requiere de ALG (Application Level Gateway) para convertir direcciones Ip Embebidas.
Escalabilidad	Alta	Media	Alta
Prestaciones	Alta	Media	Baja
Facilidad HA	Alta	Alta	Media
Impacto en Login	No	Si	No

Fuente: Autores

**Configuraciones de transición a Ipv6**

La transición de Ipv4 a Ipv6 no es sencilla, ya que la comunicación entre la versión actual y el nuevo protocolo debe mantenerse, pues en algún momento se llevará a cabo una migración completa de Ipv4 a Ipv6, evitando afectar las aplicaciones y los servicios de la red actual del Plenario de la Asamblea. Con la transición al nuevo protocolo IP, no se pretende remplazar los servicios Ipv4, si no buscar diferentes opciones para la migración, ya que el Plenario pertenece a una institución cuya tecnología es poco obsoleta, por lo tanto, es importante obtener mecanismos sólidos para transmitir los datos en ambos protocolos. Seguidamente se detallan las opciones para la migración a Ipv6 dentro de la red del Plenario.



**Figura 4.**

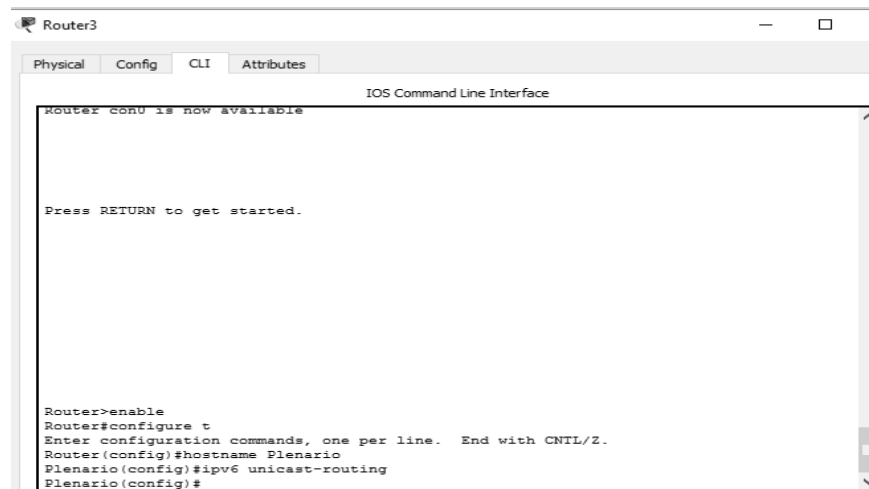
Asignar nombre al Router

## Protocolos de enrutamiento

Para la nueva estructura de la red y migración hacia el protocolo Ipv6, ha sido tenido en consideración el protocolo OSPF, debido a que este es uno de los protocolos de enrutamiento interno mejor implementados para redes corporativas grandes y medianas.

A continuación, se presenta un resumen de las características más importantes por las cuales se ha tomado en cuenta el protocolo OSPF para la migración a IPv6:

- Respuesta rápida y sin bucles ante cambios.
- Seguridad ante los cambios.
- Balanceo de carga en múltiples caminos.
- Escalabilidad en el crecimiento de rutas externas (Polak, 2014).



```
Router3
Physical Config CLI Attributes
IOS Command Line Interface

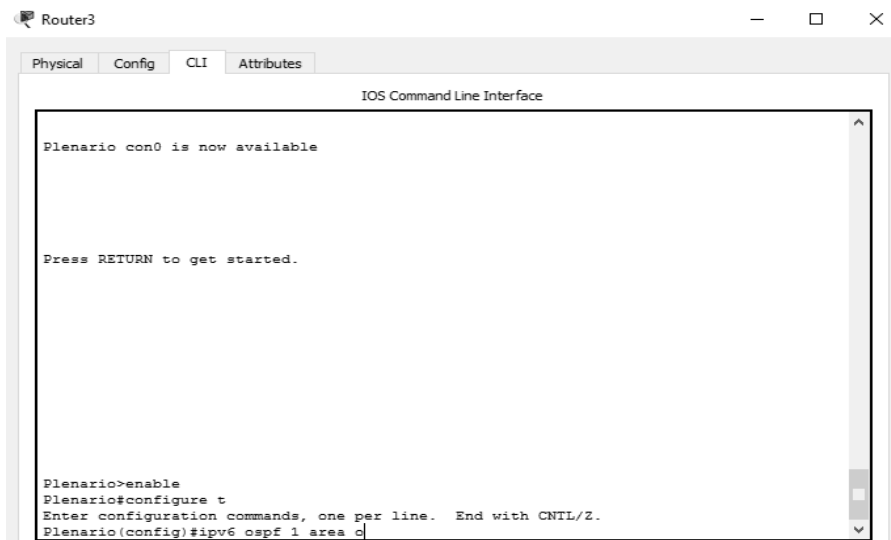
Router con0 is now available

Press RETURN to get started.

Router>enable
Router#configure t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Router(config)#hostname Plenario
Plenario(config)#ipv6 unicast-routing
Plenario(config)#
```

*Figura 5.*

Enrutamiento de paquetes IPV6



```
Router3
Physical Config CLI Attributes
IOS Command Line Interface

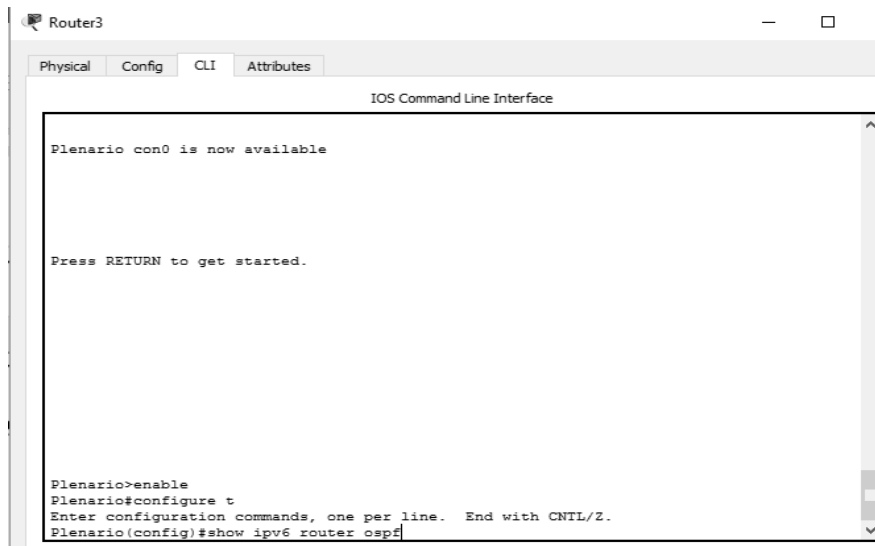
Plenario con0 is now available

Press RETURN to get started.

Plenario>enable
Plenario#configure t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Plenario(config)#ipv6 ospf 1 area 0
```

*Figura 6.*

Habilitar Ospf dentro de un Router



**Figura 7.**

Verificar las configuraciones

Seguidamente se muestra una tabla comparativa de las Vlan con los resultados de la conversión de IP

**Tabla 2.**

Configuración de las Vlan con los dos protocolos

Vlan	Interfaz	Dirección de la sub interfaz con Ipv4	Dirección de la sub interfaz con Ipv6
Administración	fa1/0	192.168.1.1/24	2001: A192:B168:C001::1/64
Asambleístas	fa2/0	192.168.2.1/24	2001: A192:B168:C002/64
Comisión	fa3/0	192.168.3.1/24	2001: A192:B168:C003::1/64
Móvil	fa4/0	192.168.4.1/24	2001: A192:B168:C004::1/64
Invitados	fa5/0	192.168.5.1/24	2001: A192:B168:C005::1/64
Presidencia	fa6/0	192.168.6.1/24	2001: A192:B168:C006::1/64
Funcionarios	fa7/0	192.168.7.1/24	2001: A192:B168:C007::1/64
Servidores	Fa8/0	192.168.8.1/24	2001: A192:B168:C008::1/64

## Hardware

Para realizar la migración del Plenario se requiere que los equipos y dispositivos soporten Ipv6. En la tabla que se observa a continuación, se pueden analizar los resultados del estudio realizado sobre cada uno de estos equipos.

**Tabla 3.**

Hardware del plenario

### Hardware

Equipos	Marca/Modelo	Soporte Si/No	Actividad a realizar
Firewall	Cisco ASA 5500	Si	Descartar las actualizaciones del SO.
Router	Cisco ASR 9922	Si	Descartar las actualizaciones del SO.
Switch	Cisco 3702	Si	Descartar las actualizaciones del SO.
Teléfonos		Si	Descartar las actualizaciones del SO.
Pcs	Pioneerpos Stealthtouch m5	Si	Instalar las actualizaciones últimas del SO para el soporte de Ipv6.
Servidores	IBM	Si	Instalar las actualizaciones últimas del SO para el soporte de Ipv6.

Luego de realizar un previo análisis, se ha determinado que los equipos del Plenario soportan Ipv6; por esta razón no es necesario que se realice la compra de nuevos equipos. Solo se realizará la configuración y actualización del SO para cada uno.

### Software

La mayoría de los Sistemas Operativos instalados soportan el protocolo Ipv6, ya que éste está activado por defecto. En algunos dispositivos se necesita activar el soporte para Ipv6 por medio de comandos. Seguidamente se puede observar la lista de los Sistemas Operativos que han sido instalados en los equipos del Plenario.

**Tabla 4.**  
Software del plenario  
**Software**

Servidor	Sistema	Soporte	Acción
Correo	Ubuntu 12.10	Si	En el caso de ser necesario, cargar el módulo IPv6 del sistema operativo.
Aplicaciones	Centos 5.0	Si	En el caso de ser necesario, cargar el módulo IPv6 del sistema operativo.
Base de Datos	Ubuntu 12.10	Si	En el caso de ser necesario, cargar el módulo IPv6 del sistema operativo.
Voto Electrónico (Jboss)	Ubuntu 12.10	Si	En el caso de ser necesario, cargar el módulo IPv6 del sistema operativo.

Seguidamente se muestran los detalles de los costos estimados de los sistemas operativos instalados, con los que cuentan los ordenadores y servidores.

**Tabla 5.**  
Costos de software  
**Costos en software**

Software	Costo	Detalles
Ubuntu 12.4	\$20	Este S.O de Software Libre soporta. Se debe realizar es descargar las actualizaciones buscando en Internet y almacenarlos en medios magnéticos como CD'S o DVD.
Ubuntu 12.10	\$20	Este S.O de Software Libre soporta. Se debe realizar es descargar las actualizaciones buscando en Internet y almacenarlos en medios magnéticos como CD'S o DVD.
Centos 5.0	\$20	Este S.O de Software Libre soporta IPV6 y se encuentra instalado en los servidores, solo debe realizar es descargar las actualizaciones buscando en Internet y almacenarlos en medios magnéticos como CD'S o DVD.
Total	\$60	

### RRHH y Capacitaciones

Para poder establecer la migración para el nuevo protocolo Ipv6 debe prepararse al personal, de los cuales su mano de obra no se incluirá en la implementación lógica y física del protocolo. El Plenario cuenta con el grupo de soporte, el cual está totalmente capacitado para llevar a cabo la migración guiados por el jefe de soporte, con lo cual se podrá obtener la calidad requerida en el proceso de migración.

La capacitación es otro aspecto importante para la implementación de la migración hacia ipv6 de la red del Plenario, para ello deben realizarse las pruebas de capacitación y funcionamiento del personal técnico.

**Tabla 6.**  
Costos en capacitación  
**Capacitación**

<b>Pruebas</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Costo</b>
Capacitación del personal técnico	100H	\$3500
Pruebas de funcionamiento	50H	\$1800
Total		\$5300

### **Inversión**

Se debe tener en cuenta un porcentaje mayor del 30 % para los gastos que puedan presentarse de improviso, ya que puede ser necesario por ejemplo contratar personal externo que ayude en la configuración de procesos menos sencillos. Otros costos como inversiones de software y capacitación deben ser tomados en cuenta, ya que puede ser necesaria una modificación al instante de la migración.

**Tabla 7.**  
Costos del proyecto

<b>Recurso</b>	<b>Costo</b>
Capacitación	\$ 5300
Software	\$60
Extras	\$40
Total	\$ 5400

### **Riesgos de implementación**

Para implementar el protocolo Ipv6 en la red del Plenario, debe tenerse en cuenta que pueden existir factores que pongan en riesgo la migración. Seguidamente se listan algunos:

**Tabla 8.**  
Riesgos del proyecto

<b>No</b>	<b>Detalles</b>
1	Perdida de la información.
2	Falta de disponibilidad de repuestos.
3	Daños en los equipos.
4	No compatibilidad del hardware.
5	Problemas funcionales del SO.
6	Fallas de corriente eléctrica.
7	Escasa o ninguna capacitación al personal técnico.

Para realizar la migración del Plenario luego de llevar a cabo un análisis de los distintos mecanismos existentes para la transición, se ha seleccionado el mecanismo Dual Stack, debido a que es muy utilizado por las bondades que brinda. Este mecanismo según lo analizado anteriormente, brinda opciones de conexión



exclusivamente con nodos Ipv4 al permitir la opción de desactivar el nodo Ipv6, algo que ocurre de forma similar con el protocolo Iv6 cuando se desactiva el nodo ipv4. También, permite recibir y entender un datagrama Ipv6 o Ipv4 al poder activar los dos nodos a la vez. Por esta razón y dadas las características de la red del Plenario, se selecciona este mecanismo como idóneo ya que brinda la opción de configurar la red del plenario posibilitando la comunicación independientemente de la configuración que tengan los demás nodos que estén conectados a la red.

Este método de transición llamado Dual Stack facilita la implementación y gestión del protocolo Ipv6, ya que se trabaja gradualmente, o sea permite configurar secciones pequeñas de la red. Esto permite solucionar la no existencia del protocolo Ipv4 en un futuro, ya que solo se deshabilitaría la pila de Ipv4 para cada nodo. Otra de las grandes ventajas que posee esta metodología, es que facilita la reducción del impacto de funcionalidad de las aplicaciones, tiempo y costo.

### **Conclusiones**

Dado que el espacio de direccionamiento Ipv6 cuenta con una gran capacidad, se pueden lograr en el plenario identificar una gran cantidad de dispositivos de la red, también implementar los métodos de autoconfiguración y lograr niveles concretos de agregación de direcciones. El proceso de migración si se puede realizar dentro de la red del Plenario, ya que se analizaron las características de los dispositivos de la red y se determinó que todos cuentan con soporte para Ipv6, solo deben realizarse las configuraciones pertinentes. La migración hacia Ipv6 se debe llevar a cabo paulatinamente y se ha establecido un período de transición entre ambos protocolos, con el objetivo de disminuir el impacto que esto tenga sobre el funcionamiento de la red.

Para implementar el protocolo Ipv6 se propusieron dos opciones, las cuales brindaban la posibilidad de manejar Ipv4/Ipv6 a través del método Dual Stack y de esta forma se permite que los dos protocolos puedan coexistir. Con el diseño propuesto se ha tratado de mejorar la seguridad de las diferentes subredes estableciendo reglas de seguridad.

### **Agradecimiento**

Un agradecimiento a Dios y a nuestras familias por ese apoyo infinito y sin condiciones a nuestros emprendimientos. A la Asamblea Nacional del Ecuador por el apoyo total a nuestra investigación.

### **Referencias**

- Palet, J. (03 de febrero de 2012). *IPv6 es la única alternativa para seguir en Internet*. Recuperado de <http://www.elmundo.es/elmundo/2011/02/03/navegante/1296732593.html>
- Pérez, J. (2013). *Tecnología y mecanismos de transición de Ipv4 a Ipv6*. (Tesis de maestría). Universidad Técnica del Norte.
- Pérez, N. J. (2014). *Tecnologías y mecanismos de transición de Ipv4 a Ipv6*. México, México.
- Polak, B. (2014). *Introducción a la configuración de Router Cisco*. (Tesis de pregrado). Universidad ORT Uruguay. Montevideo, Uruguay.

Rivera, J. (2015). *Plan de implementación para la migración a Ipv6 de la Red de la Facultad de Ciencias Administrativas de Guayaquil*. (Tesis de maestría). Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

Rivera, J. (2015). *Plan de implementación para la migración a ipv6 en la Red de la Facultad de Ciencias Administrativas en la Universidad de Guayaquil*. (Tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

Rivera, L. (2013). *Propuesta de un plan de implementación para la migración de ipv4 a ipv6* (tesis de pregrado) Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador.

Salazar, W. (2013). *Propuesta de migración de IPv4 a IPv6 de la red de la Universidad Simón Bolívar*. (Tesis de maestría). Universidad Simón Bolívar. Quito, Ecuador.

6SoS. (2015). *El protocolo Ipv6*. (Tesis de maestría). México, México.

Zamora, L. (2014). *Internet*. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México, México.

A close-up photograph of a person's hand holding a silver adjustable wrench. The hand is positioned over the engine compartment of a vehicle, with various mechanical parts and hoses visible in the background. The lighting is dramatic, with strong highlights on the hand and the wrench, and deep shadows in the engine bay. The overall color palette is dark and moody, with a teal or blue tint.

**CAPÍTULO 2**  
**MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

# Evaluación ergonómica, con métodos owas y rula, caso de estudio: actividades de mantenimiento vehicular pesado

**Luis Morales**

Universidad Técnica de Ambato  
luisamorales@uta.edu.ec

**Santiago Collantes**

Universidad Técnica de Ambato  
sm.collantes@uta.edu.ec

**Gabriel Palacios**

Universidad Técnica de Ambato  
gppalacios2010@hotmail.com

## Resumen

La reiterada carga estática (postural) derivada de posiciones forzadas en el trabajo, provoca patologías conocidas como desórdenes músculo-esqueléticos (DME). La investigación tiene por objetivo, la evaluación de la carga postural en trabajadores de mantenimiento vehicular y equipo caminero de los talleres del Gobierno Provincial de Tungurahua. La población de estudio es 11 varones con un promedio de edad de 37 años, los DME se establecen a través del cuestionario Nórdico de Kuorinka, el estudio contempla los métodos OWAS (Sistema de análisis de trabajo de Ovako) y RULA (Valoración Rápida de los Miembros Superiores) para clasificar el nivel de riesgo y su efecto sobre los operarios. Los resultados según OWAS determina que el 43,5% de posturas son forzadas y tienen la posibilidad de causar daños a varios segmentos del cuerpo, mientras que RULA indica que el 52,1% de posturas exige cambios urgentes en las metodologías de trabajo, ya que ejercen condiciones negativas en espalda y rodillas. Los segmentos corporales con mayor afección en el personal son: lumbar 81,8%, rodillas 72,7%, codos 45,5% y piernas 36,4%. La investigación determinó que los talleres donde se realizó el estudio, la zona lumbar es la más afectada cuando se realizan actividades de mantenimiento vehicular pesado.

**Palabras claves:** Carga postural, Ergonomía, DME, OWAS, RULA.

## Abstract

The repeated static loading (static postures) derived from exertion positions in working places causes pathologies known as work-related musculoskeletal disorders (WMSDs). The objective of the investigation is to evaluate the static loading in the vehicular and road equipment maintenance workers in the workshops of the Tungurahua Provincial Government. The study population corresponds to 11 men with an average age of 37 years, the WMSDs is established through the Kuorinka Nordic questionnaire. The study involves the use of the OWAS (Ovako Working Analysis System) and RULA (Rapid Upper Limb Assessment) methods to classify the level of risk and its effect on workers. The results according to OWAS determined that 43.5% of postures are forced and have the possibility of causing damage to several segments of the body, while RULA indicated that 52.1% of positions require urgent changes in working postures since exert negative conditions on the back and knees. The most affected body segments in the evaluated staff are: lumbar area 81.8%, knees 72.7%, elbows 45.5% and legs 36.4%. The investigation determined that in the workshop where the study was performed the lumbar area is the most affected when maintenance activities are carried out in heavy vehicles.

**Keywords:** Postural load, Ergonomics, WMSDs, OWAS, RULA.

## Introducción

### Introducción al problema

La actividad del hombre está directamente ligada con el trabajo. Por lo tanto, un entendimiento y control de la capacidad humana y factores de riesgos ocupacionales, ayudan a optimizar las condiciones de trabajo. Debido a la creciente importancia de mantener en las organizaciones un balance entre las competencias y habilidades de los trabajadores y las condiciones de su actividad laboral, es necesaria la implementación de métodos y herramientas que contribuyan a la toma de decisiones objetivas (Coronado Hernández & Ospina Mateus, 2012). La exposición ocupacional a riesgo ergonómico en el personal de la empresa mecánica incluida la automotriz, está generalizada a todas las áreas y puestos de trabajo, ya que en estas locaciones operacionales siempre está presente este tipo de riesgo por razones del oficio, con la probabilidad de padecimiento de lesiones (Montiel, y otros, 2012).

Los desórdenes músculo-esqueléticos (DME), son uno de los riesgos profesionales más comunes y generalizados (Rajani, y otros, 2014). Según la Organización Mundial de la Salud, se ha evidenciado mediante muchos estudios, que estos problemas primordialmente son causados precipitados o agravados, por una serie de factores ocupacionales como las actividades de fuerza y repetitivas, la carga muscular estática, la postura inadecuada del cuerpo, las vibraciones y en general, están asociados con el sobre esfuerzo (Salazar Villamarín, Viveros, Ararat Mina, Castillo Dorado, & Ríos Mosquera, 2011).

Los DME relacionados con el trabajo son las principales causas de dolor, sufrimiento, ausentismo, discapacidad y reducción de la productividad (Fateme, Rasoul, Mahnaz, & Farshad, 2015). La identificación y evaluación de los factores de riesgo, constituyen la base para lograr una efectiva adaptación de los puestos y condiciones de trabajo y, por ende, la prevención de muchos trastornos de esta naturaleza (Márquez Gómez & Márquez Robledo, 2015). Se estima que del 30 al 50% de los trabajadores a nivel mundial, está expuesto a riesgos ocupacionales que le puede generar lesiones músculo-esqueléticas (López Torres, González Muñoz, Colunga Rodríguez, & Oliva López, 2014).

En toda Europa se estima que 44 millones de obreros tienen DME, que son causados por su trabajo y estos trastornos están extendidos en todos los sectores de actividad. Según los datos de la cuarta encuesta europea sobre las condiciones de trabajo (realizada en 31 países: UE2 más Noruega, Croacia, Turquía y Suiza), la fundación europea para la mejora de las condiciones de vida y de trabajo, concluye que más de un tercio de los trabajadores europeos sufren de estos padecimientos relacionados con el trabajo. El 24,7% de los obreros reportan dolor de espalda y 22,8% de dolores musculares en hombros, cuello y/o miembros superiores e inferiores. Esto significa que unos 60 millones de trabajadores informaron haber sufrido de DME relacionados con el trabajo en Europa. Por lo tanto, en la Unión Europea, el dolor de espalda parece ser el problema de salud laboral más frecuente, seguido por la fatiga general (22,5%) y el estrés (22,3%) (Nunes, 2017).

Según la Oficina de Estadísticas Laborales de Estados Unidos, la incidencia de trastornos músculo-esqueléticos se ha incrementado en un lapso de 10 años de un 21 a un 56%, siendo estos los más prevalentes de todas las enfermedades ocupacionales. Además de los 387.820 casos de DME representaron el 33% de todos los casos de lesiones del trabajador y de enfermedad en 2011 (Bureau of Labor Statistics U.S. Department of Labor, 2012) y más del 42% de los costos de compensación total de obreros (Liberty Mutual Insurance, 2013). Algunos creen que estas cifras son conservadoras. Por ejemplo, Manuele cita fuentes que

sugieren que incidentes relacionados con la ergonomía representan el 50% de todos los incidentes con tiempo perdido y el 60% de los costos directos (Manuele, 2013).

Los DME representan un tercio de todos los incidentes de trabajo incapacitantes y más del 40% de los costos de compensación de los trabajadores en los EE.UU. (Lyon, Popov, & Hanes, 2013). OSHA ha estimado que estas afectaciones cuestan a las empresas estadounidenses más de \$20 mil millones al año (OSHA, 2013). Por cualquier medida, los riesgos ergonómicos son costosos. Los lugares de trabajo que ignoran los riesgos ergonómicos también gastan más, a menudo mucho más, para producir menos a menor calidad y por lo general sufren de baja moral de los empleados (Lyon, Popov, & Hanes, 2013).

### **Importancia del problema**

En el Ecuador según los datos más recientes de la Dirección de Riesgos de Trabajo del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS) y que datan del 2012, las afecciones profesionales que más se reportaron fueron las del sistema óseo-muscular relacionadas con la tensión. Estas enfermedades se relacionan con el diseño del lugar de trabajo y las malas posturas, tanto en las áreas operativas como administrativas de las empresas, sobre todo en las que se desarrollan frente a un computador. Estas son lumbalgia crónica (dolor en la espalda baja), hernia discal (dolencias de la columna vertebral), síndrome del túnel carpiano (presión sobre los nervios que se transmiten a la muñeca), lumbalgia y hombro doloroso (uno de los casos de tendinitis). Juntas sumaron el 69% del total de enfermedades reportadas el 2012 (El Comercio, 2014).

Los resultados de las últimas investigaciones realizadas en el campo de la carga postural evidencian, que una de las principales medidas de corrección ergonómica, es la reducción de la carga estática causada por posturas no adecuadas adoptadas en el trabajo. La Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo (INSHT, 1993), analizó la carga física de trabajo en función del tiempo y establecieron los siguientes resultados: el 39.3 % de las personas encuestadas trabaja de pie andando, un 35.1 % sentado levantándose y un 19.3 % permanece en posturas fatigantes un cuarto del tiempo de su trabajo o más. Por otro lado, el 41.8 % siente molestias en la espalda, el 19.1 % en la nuca y el 11.8 % en las piernas. Durante el trabajo estático la circulación de la sangre y el metabolismo de los músculos disminuyen, con lo que la eficacia del trabajo muscular es baja.

La continua o repetida carga estática de posturas penosas en el trabajo, genera una constricción local muscular y la consecuente fatiga, en casos de larga duración puede llegar a provocar trastornos o patologías relacionados con el trabajo (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 1999).

Dentro de los talleres del Gobierno Provincial de Tungurahua se realizan actividades de mantenimiento automotriz en vehículos pesados (equipo caminero) como: lubricación, rectificación, lavado entre otras, las cuales requieren la evaluación de la carga estática debido a las posiciones adoptadas por los operarios, además de las afectaciones a su integridad física, de tal manera que se cumpla con la normativa nacional vigente con respecto a seguridad laboral.

### **Metodología**

#### **Población**

Los participantes en el estudio son 11 trabajadores de mantenimiento pesado pertenecientes a los talleres del Gobierno Provincial de Tungurahua en las áreas de soldadura, torno, mecánica automotriz, electricidad automotriz, reparación de equipo caminero y lavado automotriz, la edad media del personal al momento de realizada la evaluación fue de 37 años.

## Métodos

Se tiene como base un estudio de corte transversal para conocer la sintomatología actual de los trabajadores. Cuestionario Nórdico de Kuorinka. Este cuestionario recopila información sobre dolor, fatiga o discomfort en distintas zonas corporales (Kuorinka, et al., 1987). El cuestionario contempla 9 regiones anatómicas del cuerpo que son el cuello, hombro, columna dorsal, columna lumbar, cadera, codo, mano/muñeca, rodilla, tobillo/pie. Además, comprende de 2 secciones. La primera sección se aplica un cuestionario general para identificar las áreas del cuerpo que causan molestias músculo-esqueléticas en las zonas corporales definidas anteriormente.

Se pregunta a los trabajadores si “en los últimos 12 meses: ha sufrido molestias, dolores o contracturas a nivel de” se tiene cuatro posibles nunca, ocasionalmente, frecuentemente y siempre.

En la segunda sección se describen preguntas adicionales, relacionadas con atención médica, rehabilitación, ausentismo en su trabajo y medicación tomada para controlar los síntomas músculo-esqueléticos (Carneiro, Braga, & Barroso, 2017).

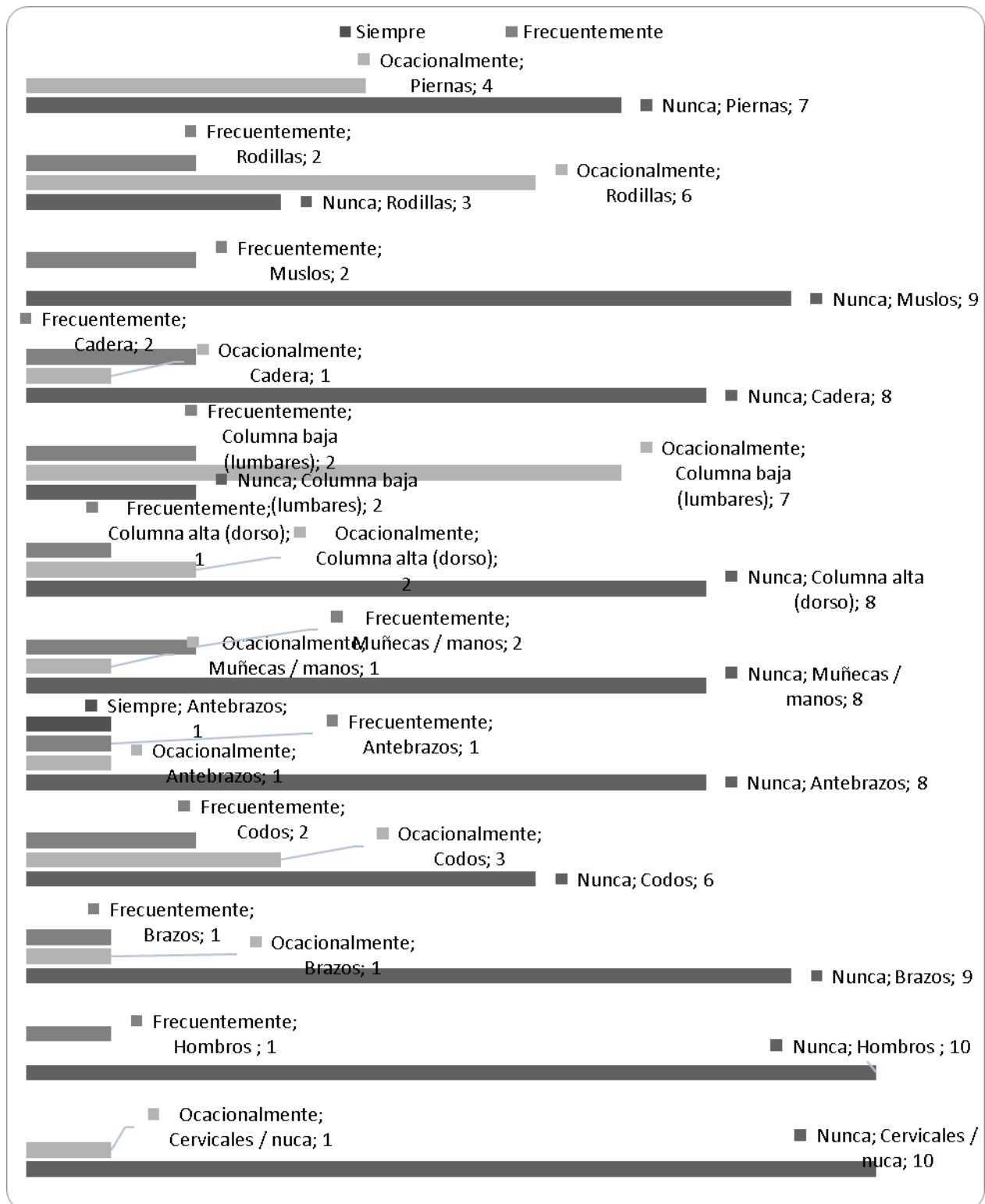
Se usa herramientas ergonómicas para la valoración de la carga estática (postural) de las posturas adoptadas por los obreros en la realización de sus labores diarias para ello se utiliza los siguientes métodos: OWAS (Ovako Working Analysis System). Se trata de un método de observación multimodo que fue originalmente diseñado en Finlandia para la industria siderúrgica (Hussein & Atiya, 2008). El método está basado en la observación y registro de las posturas adoptadas por los segmentos corporales: tronco, extremidades superiores e inferiores.

RULA (Rapid Upper Limb Assessment). El método permite evaluar posturas específicas en las tareas de mantenimiento. Se seleccionan aquellas que, a priori, supongan una mayor carga postural bien por su duración, bien por su frecuencia o porque presentan mayor desviación respecto a la posición neutral (Diego Mas, 2015). Este método ayuda a establecer un nivel de actuación del 1 al 4, siendo el nivel 1 (posturas con riesgo aceptable) y el nivel 4 (posturas que requieren cambios urgentes en la tarea) para las posturas analizadas.

## Resultados y Discusión

### Resultados de la encuesta

En la Figura1, ilustra la sintomatología músculo-esquelética existente en los 11 obreros de mantenimiento vehicular y equipo caminero, obtenida mediante el Cuestionario Nórdico de Kurioca (Kuorinka, et al., 1987).



**Figura 1**

Percepción en los últimos 12 meses de molestias músculo-esquelético

Todos los miembros del personal de mantenimiento, han presentado dolores o molestias incluso lesiones en varias zonas de su cuerpo, en un intervalo de tiempo de 1 año atrás de aplicada la encuesta. Los



padecimientos más comunes se encuentran en la zona lumbar; 9 obreros han sufrido molestias en esta zona de manera ocasional o frecuente durante la jornada de trabajo; 8 personas presentan molestias en sus rodillas; 4 personas presentan dolores en sus pies; otra molestia muy común son los dolores en los codos, 5 personas presentan este malestar. Gran parte del personal ha recibido atención médica por trastornos en la zona lumbar, además en codos, cadera y rodillas, algunos de los empleados recibieron rehabilitación por estas molestias debido a lesiones o dolores muy frecuentes. A pesar de la gran cantidad de molestias, no existe ausencia al trabajo, es decir, los trabajadores realizan sus labores a pesar de sus malestares. Para contrarrestar sus padecimientos, algunos trabajadores toman medicamentos en especial para dolores en la zona lumbar.

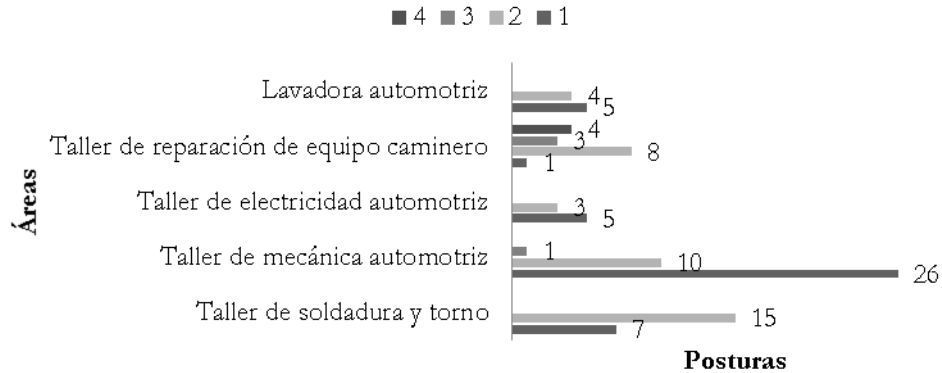
La sintomatología actual es agravada por las inadecuadas posturas, que con el transcurso del tiempo conllevan a varias enfermedades profesionales, entre las más comunes se tiene las lumbalgias, bursitis del olécranon debida a presión prolongada en la región del codo, bursitis prerrotuliana provocada por la estancia continua en posición de rodillas, epicondilitis debida a trabajo intenso y repetitivo, además de lesiones de menisco consecutivas a períodos prolongados de trabajo en posición de rodillas o en cuclillas. El personal con mayor riesgo a padecer alguna de estas enfermedades, se encuentran en el área de soldadura y mantenimiento de equipo caminero debido a las características de sus actividades (Consejo directivo del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social).

### **Resultados método OWAS**

Mediante este método, se analizó un total de 10 procesos de mantenimiento, distribuidos en 5 áreas distintas, en total se valoró 92 posturas. La figura 2 muestra las posturas categorizadas por su nivel de riesgo en cada una de las áreas de los talleres. Del total de posturas analizadas, el área con mayores riesgos ergonómicos, es el taller de reparación de equipo cuyas actividades como: cambios de aceite, cambio de diversas partes con gran variedad de tamaños y tiempos, poseen 16 posturas de las cuales 8 son de riesgo, 2 tienen la posibilidad de causar daño al sistema músculo-esquelético, 3 posiciones tienen un nivel de riesgo, 3 estas tienen efectos dañinos y requieren acciones correctivas lo antes posible, 4 posturas son de nivel, 4 tienen un efecto sumamente dañino sobre el trabajador pudiendo causar lesiones en las diferentes zonas afectadas como la espalda y las rodillas. Es por esto que se requiere tomar acciones urgentemente en especial, en los métodos de trabajo donde estas posturas sumamente dañinas, se presentan en tareas que se realizan sobre y bajo la maquinaria además de labores a nivel del piso.

En el área de soldadura y torno, las tareas tienen varios factores que obligan la adopción de posturas disergonómicas de nivel 2, entre estos se tiene trabajos a nivel del piso, mesas de trabajo mal diseñadas, tareas sobre maquinaria y superficies irregulares. Estas posiciones afectan no solo a la espalda sino también, las extremidades superiores ya que permanecen extendidas grandes períodos de tiempo, al momento de manipular diversos equipos como: soldadora, taladro, cortadora, etc., también se ven afectados los miembros inferiores debido a trabajos en cuclillas.

## Posturas por categoría de riesgo



**Figura 2.**

Posturas por categoría de riesgo OWAS

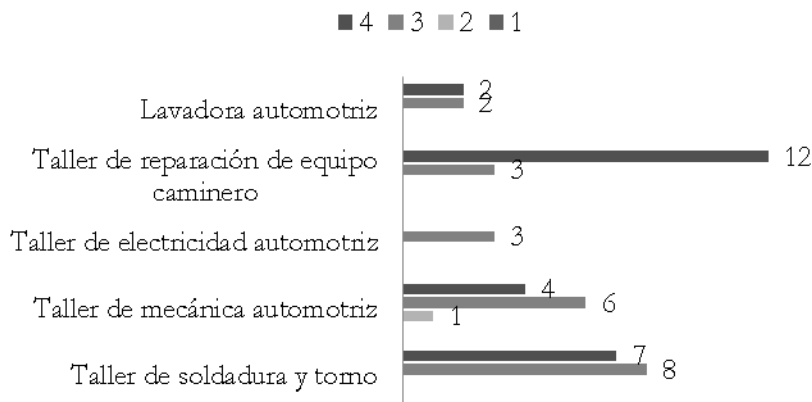
### Resultados método RULA

RULA evaluó posturas específicas que por sus características necesitan un estudio a profundidad. La Figura 3 muestra la categorización de las posturas en cada área de trabajo de los talleres.

Las tareas ejecutadas en el área de reparación de equipo caminero muestran gran número de posturas riesgosas con niveles 3 y 4, ya que las actividades se realizan directamente sobre la maquinaria, obligando al obrero a realizar grandes flexiones en sus extremidades. Las extremidades con mayores puntuaciones que afectan al resultado final son: brazos los cuales poseen flexiones mayores a 45°, el cuello con inclinaciones de 20° en adelante y el tronco con ángulos de desviación mayores a 20°, lo mismo sucede en el taller de soldadura y torno, cuyos procesos como la reparación y elaboración de elementos se realizan en mesas de trabajo y a nivel del piso, esto fuerza al trabajador a realizar grandes esfuerzos en sus extremidades.

En el taller de mecánica automotriz, el proceso de cambio de aceite en volquetes posee gran número de posturas con niveles 3 y 4. Esta se debe a sus trabajos sobre el volquete, el cual posee superficies irregulares que exigen la extensión e inclinación de extremidades superiores y la espalda en ángulos disergonómicos afectándolas gravemente. Las posturas con nivel 2 pueden requerir cambios en la tarea, pero es necesario un análisis a profundidad, las posiciones con niveles 3 y 4 requieren cambios en la actividad principalmente en el método de trabajo, impidiendo la adopción de estas posturas.

### Posturas por categoría de riesgo



**Figura 3.**

Posturas por categoría de riesgo RULA

### Conclusiones

Las actividades de mantenimiento son altamente dinámicas y varían tanto en frecuencia como en duración. Las posturas realizadas en estas tareas ejercen carga postural con mayor incidencia en la espalda y rodillas de los trabajadores, debido a tareas en superficies irregulares que forzan la inclinación de la espada fuera de su posición normal, además generan trabajos en cuclillas. Estas condiciones tienen la posibilidad de causar varias dolencias músculo-esqueléticas como lumbalgias, higroma de rodilla o bursitis, a su vez pueden agravar la sintomatología ya existente en el personal. Las áreas de trabajo con mayores riesgos son el taller de soldadura, torno y el área de reparación de equipo caminero.

### Agradecimiento

Se hace llegar un cordial y fraterno saludo y agradecimiento al Consejo Provincial de Tungurahua por su apertura total en trabajos de investigación entre sus diferentes áreas y actividades, especialmente a la responsable de la Unidad de Gestión de Riesgos Laborales, Ing. Patricia Orellana. Mg, por la colaboración en el análisis de resultados y la información prestada.

### Referencias

- Bureau of Labor Statistic U.S. Department of Labor. (2012, Noviembre 8). *Non fatal occupational injuries and illnesses requiring days away from work*. Retrieved from [http://www.bls.gov/news.release/archives/osh2\\_11082012.pdf](http://www.bls.gov/news.release/archives/osh2_11082012.pdf)
- Carneiro, P., Braga, A. C., & Barroso, M. (2017). Work-related musculoskeletal disorders in home care nurses: Study of the main risk factors. *International Journal of Industrial Ergonomics* (61), pp. 22-28.
- Consejo Directivo del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social. (n.d.). *Reglamento del seguro general de riesgos del trabajo*. Retrieved from [http://sart.iesse.gov.ec/DSGRT/norma\\_interactiva/IESS\\_Norma\\_tiva.pdf](http://sart.iesse.gov.ec/DSGRT/norma_interactiva/IESS_Norma_tiva.pdf)
- Coronado Hernández, J., & Ospina Mateus, H. (2012). Incorporación de riesgos ergonómicos en el balanceo de líneas de ensamble En U. *Working Papers on Operations Management*, 4(2), pp. 29-43.

- Corrales Riveros, C. A., & Gómez Alvarez, R. M. (2013). *Diseño y validación de un método de evaluación de riesgos ergonómicos*. Innovation in Engineering, Technology and Education for Competitiveness and Prosperity. Retrieved from <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP196.pdf>
- Diego Mas, J. A. (2015). *Evaluación postural mediante el método RULA*. (Ergonautas, Universidad Técnica de Valencia) Retrieved from <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/rula/rula-ayuda.php>
- El Comercio (2014, Junio 7). *Cinco enfermedades más comunes en el trabajo*. El Comercio.
- Fatemeh, A., Rasoul, Y., Mahnaz, S., & Farshad, A. A. (2015). Educational intervention for reducing work-related musculoskeletal disorders and promoting productivity. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 21(4), pp. 480-485.
- Hussein, K., & Atiya, K. A.-Z. (2008). Correcting working postures in water pump assembly tasks using the OVAKO Work Analysis System (OWAS). *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, 4(3), pp. 8-17.
- Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo (2011). *Posturas de trabajo: evaluación del riesgo*. Ministerio de Trabajo e Inmigración.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (1999). *NTP 452: Evaluación de las condiciones de trabajo: carga postural*. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España. Retrieved from [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp\\_452.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp_452.pdf)
- Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., Vinterberg, H., Sørensen, B., Andersson, G., & Jørgensen, K. (1987). Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Applied Ergonomics*, 8(3), pp. 233-237.
- Liberty Mutual Insurance. (2013). *Liberty mutual manual material handling tables*. Retrieved from [http://libertymmhtables.libertymutual.com/CM\\_LMTTablesWeb/taskSelection.o?action=initTaskSelectionLibertyMutualResearchInstituteforSafety](http://libertymmhtables.libertymutual.com/CM_LMTTablesWeb/taskSelection.o?action=initTaskSelectionLibertyMutualResearchInstituteforSafety).
- López Torres, B. P., González Muñoz, E. L., Colunga Rodríguez, C., & Oliva López, E. (2014). Evaluación de sobrecarga postural en trabajadores: revisión de la literatura. *Ciencia & Trabajo*, 16(50), pp. 111-115.
- Lyon, B., Popov, G., & Hanes, K. (2013). *A practical risk assessment model*. Professional Safety.
- Manuele, F. A. (2013). *On the practice of safety*. John Wiley & Sons., 4.
- Márquez Gómez, M., & Márquez Robledo, M. (2015). Factores de riesgo biomecánicos y psicosociales presentes en la industria venezolana de la carne. *Ciencia & Trabajo*, 17(54), pp. 171-176.
- Montiel, M., Romero, J., Lubo Palma, A., Quevedo, A. L., Rojas, L., Chacin, B., & Sanabria, C. (2012). Valoración de la carga postural y riesgo músculo-esquelético en trabajadores de una empresa metalmeccánica. *Salud de los Trabajadores*, 14(1), pp. 60-68.

Nunes, I. (2017). *Introduction to musculoskeletal disorders*. Retrieved from [https://oshwiki.eu/wiki/Introduction\\_to\\_musculoskeletal\\_disorders](https://oshwiki.eu/wiki/Introduction_to_musculoskeletal_disorders)

OSHA. (2013). *Identify problems*. Retrieved from [www.osha.gov/SLTC/ergonomics/identifyprobs.html#Resources](http://www.osha.gov/SLTC/ergonomics/identifyprobs.html#Resources)

Rajani, D., Pradnya, W., Babita, Y., Smita, M., Ashishkumar, P., & Sunilkumar, N. (2014). Postural assessment of students evaluating the need of ergonomic seat and magnification in dentistry. *J Indian Prosthodont Soc*, 1(14), pp. 51-58.

Salazar Villamarín, C. I., Viveros, J. R., Ararat Mina, J. A., Castillo Dorado, C. L., & Ríos Mosquera, C. (2011). Factores de riesgo ergonómico asociados a sintomatología de dolor músculo-esquelético en descortezadores de la Cooperativa Agroforestal del Cauca (COOTRAFORC), Popayán. Segundo período de 2008. *Revista Cubana de Salud y Trabajo*, 12(1), pp. 28-38.

# Diseño electro-hidráulico para la automatización de máquina conformadora de ojos u orejas de ballestas automotrices y análisis por medio de elementos finitos a elementos críticos

**John Ignacio Calle Sigüencia**  
Universidad Politécnica Salesiana  
jcalle@ups.edu.ec

**Servio Vinicio Astudillo León**  
Universidad Politécnica Salesiana  
sastudillo@est.ups.edu.ec

**Hernán Patricio Morocho Campos**  
Universidad Politécnica Salesiana  
hgorocho@est.ups.edu.ec

## Resumen

En este artículo se presentan los diseños de los diagramas eléctricos e hidráulicos para el diseño de una máquina automatizada, para conformar ojos u orejas de ballestas automotrices desarrollando un análisis por medio de elementos finitos de los particulares que serán sometidos a esfuerzos críticos, esto con el fin de garantizar un correcto funcionamiento de la máquina. Los diagramas eléctricos e hidráulicos se obtuvieron del diagrama de estados, determinado inicialmente a partir de las diferentes posiciones y funciones que la máquina debe cumplir. El diseño consta tres cilindros hidráulicos, que constituyen el principio de funcionamiento de la máquina propuesta. Además del objetivo planteado, el diseño cumple con los requerimientos de normativas estatales y las necesidades de la industria, estos son: tiempos de elaboración, automatización completa del proceso, facilidades para el mantenimiento de los sistemas constitutivos y lo más importante, dar solución a los problemas ergonómicos que actualmente se presentan durante el proceso manual de elaboración de estos componentes automotrices.

**Palabras claves:** Ballestas automotrices, Control automático, Diagrama de fases, Elementos finitos, Esfuerzos críticos.

## Abstract

This article presents the development of the automation of an automated machine to shape eyes or ears of automotive crossbows. This study presents the designs of the electric and hydraulic diagrams for the proposed design and in addition, an analysis was developed by means of finite elements of the individuals that will be subjected to critical efforts, this, in order to guarantee a correct operation of the machine. The electrical and hydraulic diagrams were obtained from the state diagram, initially determined from the different positions of the three hydraulic cylinders that constitute the operating principle of the proposed machine. In addition to the stated objective, the design meets the requirements initially proposed, these are: processing times, complete automation of the process, provide the necessary facilities for the maintenance of the constituent systems and most importantly, solve the ergonomic problems currently Are presented during the manual processing of these automotive components.

**Keywords:** Automotive Ballestas, Automatic control, Phase diagram, Finite elements, Critical efforts.

## Introducción

La automatización de procesos industriales ha significado un avance importante en el sector productivo. La producción creció a un ritmo acelerado, puesto que los procesos de producción se iban mostrando cada vez más eficientes, seguros y competitivos.

Esto ha permitido a las empresas sobresalir en un mercado donde el consumidor cada vez exige más de los productos que adquiere. Los procesos manuales y demorados fueron reemplazándose poco a poco por procesos automáticos que facilitaron la producción, resultado de esto: más beneficios económicos para las empresas productoras de bienes (Pintado, 2010).

La idea de diseñar una máquina conformadora con accionamiento automático, surge con el fin de mejorar y optimizar el proceso del conformado de ojos u orejas de ballestas automotrices. Con este diseño se pretende dar solución a uno de los principales problemas que se presenta por el no uso de tecnologías y control en los procesos de producción.

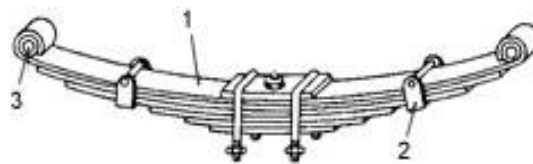
## Métodos

### Normativa

Actualmente la normativa a la que se deben regir todas las empresas encargadas de elaborar estos productos, es la Norma: NTE INEN 3017, que tiene como objetivo establecer los requisitos, inspección y definiciones que deben cumplir los resortes tipo ballesta y sus hojas para la utilización en sistemas de suspensión de vehículos (INEN, 2015).

Las ballestas como se muestra en la figura 1, están constituídas por un conjunto de hojas o láminas de acero especial para muelles, unidas mediante unas abrazaderas. Las partes que conforman estos elementos automotrices son los siguientes:

- (1) Hoja superior, que va curvada en sus extremos formando unos ojos u orejas.
- (2) Abrazaderas, permiten el deslizamiento entre las hojas cuando éstas se deforman por el peso que soportan.
- (3) Casquillos de bronce, para acoplamiento al soporte del bastidor por medio de unos pernos o bulones.



- 1.- Hoja maestra
- 2.- Abrazadera
- 3.- Casquilla de bronce

**Figura 1**

Partes principales de una ballesta automotriz.

**Fuente:** Magane, 2014

### Proceso actual de elaboración

El proceso productivo actual está definido por las siguientes etapas:

- a. Transportación.
- b. Conformado.
- c. Corte y Perforado.
- d. Conformación de ojos u orejas.
- e. Tratamientos Térmicos:
  - Temple y Revenido
- f. Acabados Superficiales:
  - Limpieza y Granallado
  - Pintado
- g. Ensamblado.
- h. Almacenaje.

### Maquinaria empleada

Maquinaria y proceso actual para conformado de ojos u orejas.

En la actualidad, para este proceso son necesario dos operarios como se puede observar en la figura 2: el primero retira las hojas del horno y las coloca en la conformadora manual; el segundo operario, haciendo uso de su fuerza lumbar, le da el conformado final de las hojas (Calle, 2016).



*Figura 2.*

Proceso manual para el conformado

**Fuente:** Autores

### Materiales para la estructura de la máquina

Cuando se requieren aceros estructurales soldables por medios convencionales para bancadas de máquinas, se usan normalmente los aceros estructurales de la norma EN 10025-2 (10025-2, 2006), cuya equivalencia es la norma ASTM A-36 (ASTM, 2017). Este acero será usado para toda la estructura en general, a excepción de las mordazas y ejes machos que necesariamente deben ser sometidos a un tratamiento térmico posterior.

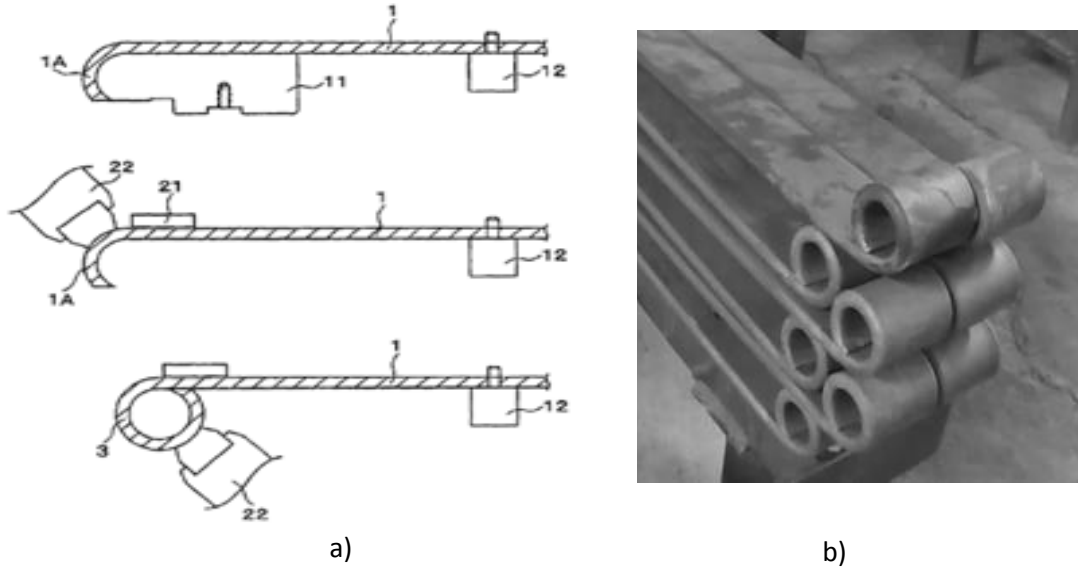
El diseño de la máquina que se realizó está basado en uno de los tres métodos conocidos para doblar chapas metálicas, que son:

- Doblado por compresión.



- Doblado por arrastre
- Doblado por prensado con cabezal

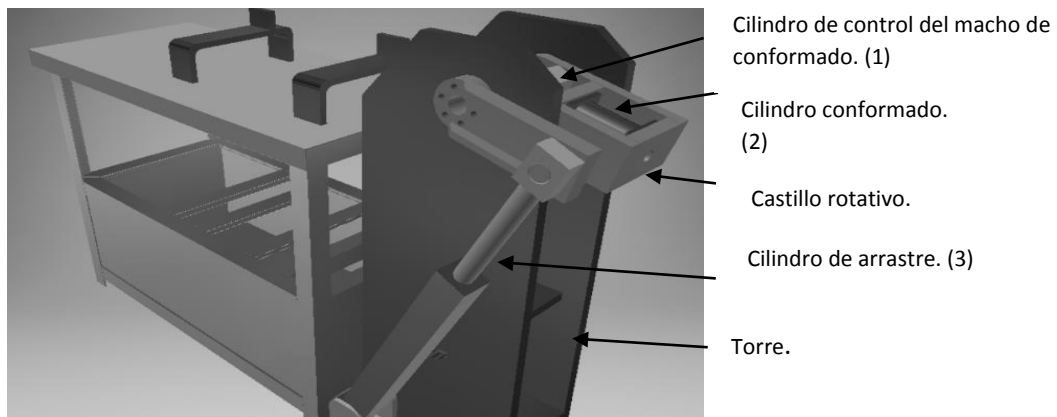
El método a usar será el doblado por arrastre. En este método, la pieza de trabajo se sujeta contra un dado que tiene la forma del doblado, que gira jalando la pieza de trabajo por una matriz de presión (eje macho) como se muestra en la figura 3 (Patente n° US 9,278,387 B2, 2012).



**Figura 3.**  
a) Doblado por arrastre y b) Conformado final de la hoja superior de la ballesta.

**Fuente:** Autores

En la Figura 4, se puede observar la máquina propuesta que permite conformar los ojos u orejas de las ballestas automotrices. Este diseño presentado cumple con los requerimientos mencionados anteriormente.

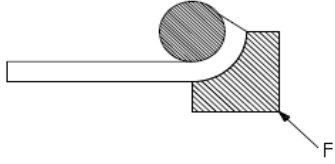
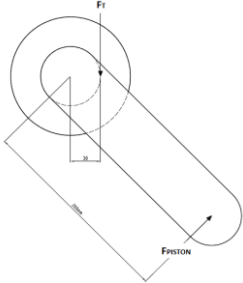


**Figura 4.**  
Máquina conformadora de ojos u orejas de ballestas automotrices con accionamiento automático

**Fuente:** Autores

**Tabla 1.**

Resultados y especificaciones de elementos constitutivos de la máquina propuesta

Nominación	Especificaciones	Resultados
<b>Fuerza F de conformado</b>	Es la fuerza necesaria para poder conformar la oreja de la ballesta. Esta fuerza debe superar la zona elástica del material hasta pasar a su zona plástica y de esta manera asegurar que el material no retome su estado inicial.	 108,6 kn
<b>Espesor del castillo rotativo</b>	Para el diseño de la máquina propuesta se usará el Acero ASTM A-36	20 mm
<b>Fuerza (<math>F_{PISTON}</math>)</b>	Es la fuerza del pistón que permitirá el giro de toda la estructura del castillo rotativo.	 $F_{piston} = 22,189 \text{ kN}$
<b>Cordón de soldadura</b>	El tipo de soldadura será a tope con una garganta de 6mm	Electrodo E7011
<b>Cilindro 1</b>	Cilindro que mueve a la mordaza	$\phi_1 = 0.062m$ $Q_1 = 5.184 \frac{l}{min}$
<b>Cilindro 2</b>	Cilindro que mueve el castillo rotativo	$\phi_2 = 0.038m$ $Q_2 = 0.283 \frac{l}{min}$
<b>Bomba Hidráulica</b>	El tipo de bomba a usar será de engranajes externos y de alta presión	Marzocchipump GHP1-D-13
<b>Motor Eléctrico</b>	Motor trifásico	$P = 3hp$ $V = 1745rpm$
<b>luido Hidráulico</b>	Aceite hidráulico Anti desgaste	(AW) ISO VG 68

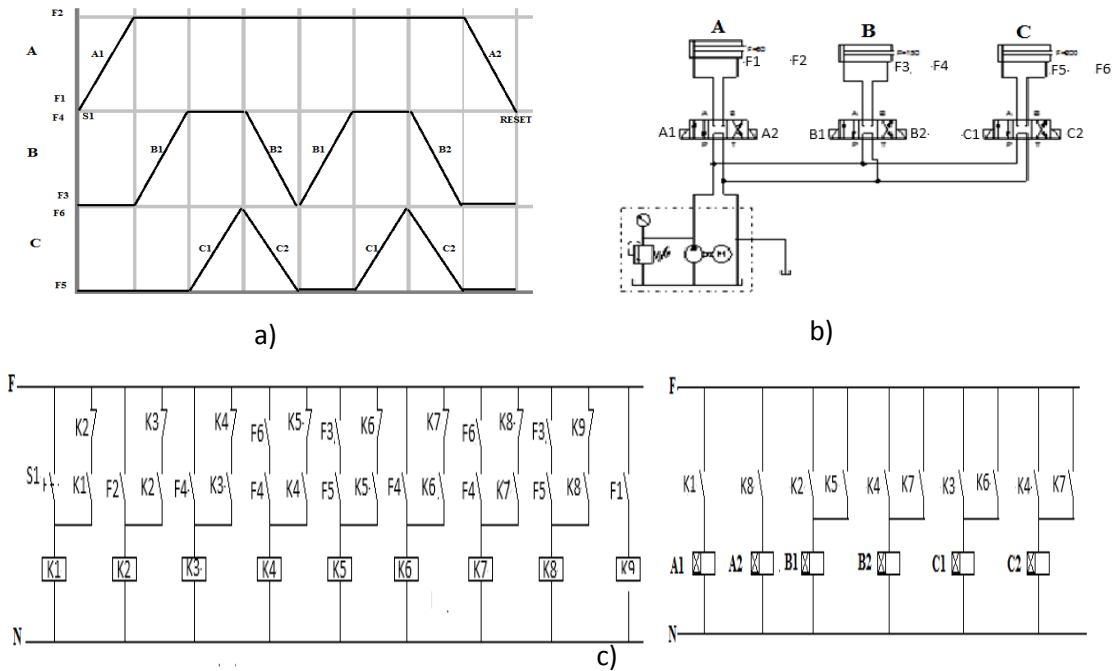
**Fuente:** Autores

### Automatización del proceso

El sistema de control se realizó en la programación de un PLC, permite el desarrollo de la secuencia establecida en el diagrama de estados (figura 5a), siendo este el diseño automatizado que minimizara la interfaz hombre-máquina de dos operadores a uno solo, en el cual el operador solo deberá colocar la hoja de ballesta en posición y accionar el pulsante "S1" para desarrollar el trabajo de conformado cumpliendo los siguientes pasos: paso 1, el cilindro de control del macho(1) ingresa a su posición por encima de la ballesta; paso 2, el cilindro de conformado(2) o de sujeción a la mordaza, realiza el pre conformado a la geometría del macho y de la mordaza; paso 3, el cilindro de arrastre(3) realiza un movimiento angular en base al principio de biela manivela, que nos permite transformar el movimiento rectilíneo en movimiento circular. Siendo estos tres pasos los más importantes para generar el conformado del ojo u oreja de la ballesta automotriz.

Secuencia de activación de los actuadores:

- ACTUADOR A es el encargado del ingreso y salida del macho de forjado
- ACTUADOR B es el encargado de la mordaza de sujeción para conformado.
- ACTUADOR C es el encargado de movimiento de conformado.
- F1, F2, F3, F4, F5, F6 son los sensores de posicionamiento.



**Figura 5.**

a) Diagrama de estados, b) Diseño del circuito oleo hidráulico y c) Programación del circuito en PLC

**Fuente:** Autores

En el diagrama de estados, se observó la secuencia que va a cumplir los 3 cilindros hidráulicos que intervendrán durante el ciclo de conformado; el conformado de manera manual se lo realiza en 29 segundos por dos operadores y con la implementación de este sistema se realizó en 9 segundos con una velocidad angular del pistón de arrastre de 15 Rev. /min.

### Resultados

La automatización del proceso productivo, se dio con la integración de tecnologías clásicas como la mecánica y la electricidad con una tecnología moderna que es la electrónica, haciendo posible esta evolución. Esta integración de tecnologías se representa en la pirámide de automatización.

La automatización se encuentra entre el cuarto y quinto nivel, dando un gran porcentaje de autonomía al proceso ya que aún requiere de un operador; en el primer nivel de la pirámide tenemos a los sensores de posicionamiento, los actuadores hidráulicos, los led indicadores, los pulsantes y stop de emergencia; en el segundo nivel tenemos al controlador PLC y el lenguaje de programación en el cual se realizó toda la secuencia que se tiene que cumplir; en el tercer nivel tenemos la interfaz de supervisión la cual es controlada por el operador y por último nivel, tenemos los protocolos de comunicación del proceso con las planificaciones administrativas en las cuales se tendrá un control de la producción, programación y planificación de la producción (Ruedas, 2008).

Con los diseños mecánicos, eléctricos e hidráulicos se construyó un prototipo a escala para validar y comprobar el principio de funcionamiento, realizando el conformado de chapas metálicas de 2 mm de espesor, en la siguiente figura se puede observar la construcción del prototipo.

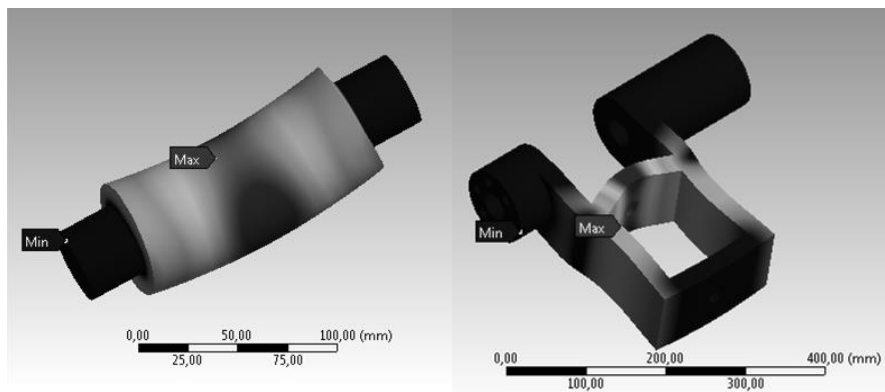


**Figura 6.**

Construcción del prototipo.

**Fuente:** Autores

De igual manera con la simulación en ANSYS, se pudo validar el comportamiento mecánico de cada componente en los que actúa los cilindros hidráulicos, obteniendo las siguientes figuras de deformaciones, fatigas y esfuerzos contantes máximo.



**Figura 7.**

Deformación máxima (0,01 mm) en el macho de conformado y Deformación máxima (0,08 mm) en el castillo rotativo

**Fuente:** Autores

### **Discusión**

La simulación se realizó bajo condiciones específicas de temperatura 700 °C siendo esta la temperatura de la ballesta, generando una transferencia de calor por conducción y convección a los componentes más críticos que son; el macho de conformado y el castillo rotativo incrementando su temperatura de 25°C a una temperatura final de 90°C a 125°C y en el caso del brazo de arrastre se presenta un incremento a 55 °C.

Los elementos que están sometidos a las mayores cargas y mediante el análisis general con la simulación del conformado a una ballesta de 19 mm de espesor, siendo esta la medida máxima que nos dicta la norma, se presenta deformaciones que generan un impacto mínimo a la estructura de la máquina garantizando que los elementos que interfieren directamente con la ballesta a 700°C van a soportar toda la carga generada por la fuerza del pistón hidráulico.

Con la construcción del prototipo se pudo validar los diseños y comprobar que la programación es la correcta para el proceso de conformado garantizando la disminución de tiempos, en la simulación se comprobó que con la ballesta de mayor espesor el tiempo de conformado se reduce a un 30 % del tiempo que demora el conformado manual.

### **Conclusiones**

El diseño de una máquina automatizada impulsada de manera hidráulica siendo la solución viable, confiable y versátil capaz de conformar ballestas de varios espesores (19 mm máximo), mediante el método de doblado por arrastre, con un factor de seguridad adecuado que garantice el funcionamiento de todos los elementos de diseño y por último que cumpla con los estándares de la norma propuesta y satisfaga la necesidad existente en la industria.

Analizar por medio de elementos finitos una pieza o un elemento, permite tener un amplio conocimiento del mismo. Gracias a su alta eficacia es posible determinar problemas y fallas en las primeras etapas de diseño; antes de la construcción del mismo.

Así, se pueden obtener mejores resultados de los esfuerzos y deformaciones a los cuales cualquier particular estará sometido.

Después de haber hecho un análisis por medio de este método a los elementos que estarán soportando esfuerzos críticos, siendo estos: el eje macho, el castillo rotatorio y la palanca, se pudo verificar que el dimensionamiento obtenido luego de un análisis matemático, es el adecuado y que no presentará problema alguno para el correcto funcionamiento de la máquina propuesta para este proceso de conformado.

### **Referencias**

ASTM. (2017). *ASTM*. Recuperado de <https://www.astm.org/Database.Cart/Historical/A36A36M-08-SP.htm>.

Calle, J., Astudillo, V., Morocho, H., & García, E. (Diciembre de 2016). Diseño de máquina automatizada para conformar ojos u orejas de ballestas automotrices. *I+T+C Investigación, Tecnología y Ciencia*, pp. 47-55.

10025-2, N.-E. (2006). *Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 2: Condiciones técnicas de suministro de los aceros estructurales no aleados*.

Inen, N. (2015). *Ballestas y hojas para suspensión en vehículos*. Servicio Ecuatoriano de Normalización, Quito, Ecuador

Magane, D. (2014). Recuperado de <http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension2.htm>.

Nhk Spring Co., L. (2012). *Patente n° US 9,278,387 B2*.

Pintado, A. (2010). *Propuesta para la optimización del proceso productivo en la fábrica de resortes vanderbilt*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.

Ruedas, C. (2008). *Automatización industrial: Áreas de aplicación para ingeniería*. Santa Lucía: Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar, Boletín Electrónico 10.

# Diseño y construcción de una herramienta neumática para el cambio de amortiguadores de un sistema de suspensión Mac Pherson aplicando métodos del diseño mecánico

**Santiago López Ortiz**

Escuela Superior Politécnica De Chimborazo  
sa\_lopez@esPOCH.edu.ec

**Pablo Sinchiguano Conde**

Escuela Superior Politécnica De Chimborazo  
psinchiguano@esPOCH.edu.ec

**Gabriel Cortéz Núñez**

Escuela Superior Politécnica De Chimborazo  
g-cortez@hotmail.com

## Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo principal, diseñar y construir una herramienta neumática para el cambio de amortiguadores de Sistema de suspensión Mac Pherson en trabajos de mantenimiento de vehículos. Para su diseño, se partió con la concepción de la idea qué especificaciones debe tener la herramienta y qué funciones debe cumplir. Luego aplicamos métodos y herramientas de diseño, con las que se establecen y analizan cuatro propuestas para llegar a la selección de la alternativa uno que presenta las mejores cualidades. A continuación, se eligió los elementos neumáticos del sistema ayudados de un simulador para verificar su funcionamiento y se sometió a un análisis estático aplicando el método de elementos finitos con el fin de garantizar la resistencia de los diferentes elementos estructurales, así se consiguió un factor de seguridad mayor a 1.3 en toda la herramienta. Con todos los cálculos y medidas necesarias se construyó la herramienta neumática logrando comprimir toda clase de espirales comerciales para el tipo de suspensión Mac Pherson sin contratiempos y realizando la operación requerida más rápido que una herramienta convencional. De esta manera se brinda seguridad y menor esfuerzo para el operario, además de ser una propuesta deseable para la industria automotriz.

**Palabras clave:** Herramienta, Neumática, cambio de amortiguadores, Diseño conceptual, Análisis estático, Factor de seguridad.

## Abstract

The present work has as main objective to design and to construct a pneumatic tool for the change of System dampers of the pension Mac Pherson in works of maintenance of vehicles. For its design, it was split with the conception of the idea; what specifications must the tool have and what the functions must meet, then apply methods and design tools, which establish and analyze four proposals to arrive at the selection of the alternative that present the best qualities. Next we chose the pneumatic elements of the system helped by a simulator to check its operation and was subjected to a static analysis that applied the finite element method with the fin guarantee the strength of the various structural elements, thus achieving a factor of Security Greater than 1.3 in all tools. With all the necessary calculations and measurements the pneumatic tool was built. Compressing the entire class of commercial spirals for the Mac Pherson suspension type without hiccups and performing the operation required faster than a conventional tool. This provides safety and less effort for the operator in addition to being a desirable proposal for the automotive industry.

**Keywords:** Tool, Pneumatic, Change of shock absorbers, Conceptual design, Static analysis, Safety factor.

## **Introducción**

### **Introducción al problema**

El mantenimiento automotriz se considera como una serie de comprobaciones y operaciones para dar la certeza de que un vehículo funcione eficientemente, si estos procedimientos son ejecutados correctamente, se optimiza el uso de mano de obra e insumos, entonces se puede conseguir el ahorro en costos de operación y el beneficio para la empresa o taller (Bolaños, 2007). En el mercado automotriz ecuatoriano, existe una limitada variedad de herramientas manuales utilizadas en la compresión de espirales para realizar el cambio de amortiguadores, que al ser suponen un largo tiempo en el recambio y un gran peligro para el operario ya que no brindan las seguridades necesarias al momento de manipularlos, es así que son conocidos diferentes accidentes producidos en esta tarea y en un campo más amplio se conoce que cada 15 segundos 157 trabajadores tiene un accidente laboral (OIT, 2017). Si se considera que la fuerza neumática permite trabajar a altas velocidades de trabajo, de forma regular y sin sufrir efectos de fatiga (Deppert W, 2000), en conjunto con un apropiado diseño se puede construir una herramienta que cumpla la operación de recambio de forma segura y rápida.

Por este motivo, el objetivo del presente trabajo es diseñar y construir una herramienta neumática mediante metodologías de diseño que aseguren el correcto funcionamiento y provea características de seguridad, alta eficiencia y rapidez. Para ello se debe realizar un estudio de los requerimientos del sistema neumático y los principios de funcionamiento de un cilindro, para luego en la etapa de diseño conceptual evaluar diferentes soluciones y seleccionar la que mejores prestaciones ofrezca. Una vez seleccionada la alternativa óptima, se procede a diseñar con detalle las características de los elementos a construir o a su vez seleccionar de catálogos los elementos disponibles en el mercado.

### **Importancia del problema**

Hoy en día los equipos y herramientas permiten realizar trabajos de gran fuerza, exactitud entre otras características que el ser humano sin su ayuda no lograría conseguir. En el trabajo de recambio de amortiguadores, el operario está sujeto a riesgos laborales causados por la dificultad de sujeción que tiene el resorte comprimido, resultando de ello la expulsión a gran velocidad del mismo. Otra limitante del modo convencional de la operación es que se utiliza demasiado tiempo en el cambio, esto supone el aumento de costos y menor capacidad operativa en los talleres dedicados exclusivamente a éste tipo de mantenimiento de vehículos. La necesidad de disponer de herramientas con mejores características de funcionamiento es la principal motivación del presente trabajo, además se pretende dar mayor aplicación a los sistemas de aire comprimido en la industria. ya que se dispone de la capacidad técnica y conocimientos teóricos junto con el aprovechamiento del bajo coste de sus componentes, su facilidad de diseño e implementación además de un bajo riesgo.

### **Metodología**

Todo proceso de diseño se compone de etapas secuenciales y que en algunos casos forman ciclos para refinamiento de resultados, la cantidad de etapas depende de la complejidad del producto y se puede acortar este proceso si se sigue una metodología clara, debido a que los datos serán recolectados y organizados de una manera más eficiente (Riba C, 2006).

En el presente trabajo se toma en cuenta varias metodologías y herramientas para un proceso de diseño más completo. El método clásico de (Pahl y Beitz, 1977) que establece etapas básicas de ideación, desarrollo conceptual y diseño de detalle. En la etapa de ideación se establece la condición inicial de la fuerza requerida



en el actuador neumático, además, se agregan características y especificaciones propuestas por el usuario y el diseñador.

En el desarrollo conceptual se analizan las funciones y subfunciones mediante el uso del diagrama de la caja negra y diagrama de flujo. Ahora se puede conocer como realizará el trabajo la herramienta y se pueden estudiar que tipo de sistema puede adaptarse (mecánico, eléctrico, neumático o hidráulico). Es así que se proponen cuatro alternativas de solución, para luego escoger la más óptima mediante una aplicación matemática de ponderación de criterios.

En la última etapa llamada diseño de detalle, se seleccionan los componentes del sistema (se usa un simulador para verificar el correcto funcionamiento del sistema) y se mide el factor de seguridad de los componentes mediante un análisis de elementos finitos, para asegurar la resistencia de la herramienta al ser sometida a cargas de trabajo.

### Ideación

En este apartado, el objetivo es conocer las especificaciones de diseño requeridas y deseadas por los usuarios y por los diseñadores. Entonces se entiende por especificación requerida, aquella necesaria para el funcionamiento de la máquina y especificación deseada, a toda aquella que no es imprescindible, pero mejora las cualidades de la máquina.

Para determinar estas características se realizó un listado como se aprecia en la siguiente tabla: **U:** Usuario; **Di:** Diseñador; **R:** Requerido; **D:** Deseado.

**Tabla 1.**  
Tabla de especificaciones  
**Especificaciones iniciales**

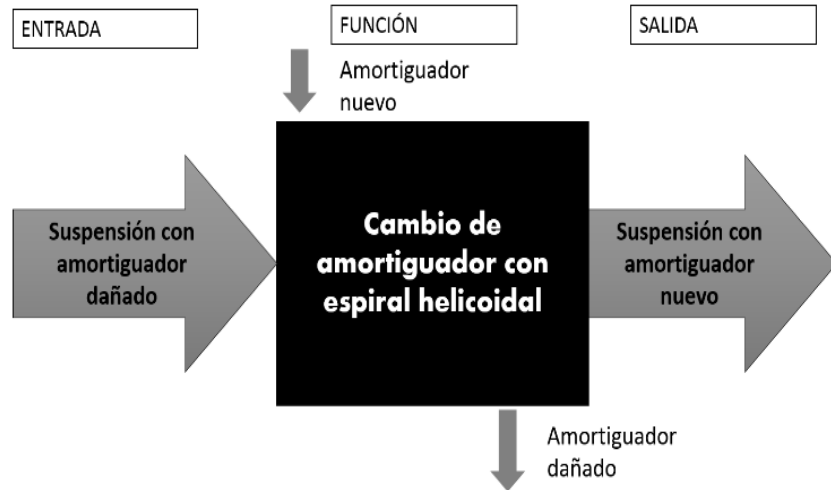
Concepto	U/Di	R/D	Descripción
Función	U	R	Comprimir espirales de suspensión Mc Pherson para el cambio de amortiguadores
	Di	R	Trabajar con aire es decir, neumáticamente
Operaciones necesarias	U	R	Generar la fuerza necesaria para comprimir todo tipo de espirales Mc Pherson
	Di	R	Detener y bloquear la operación de compresión una vez liberado el accionamiento
Precisión	Di	D	Obtener un avance estable, con una velocidad optima en la carrera de compresión como en la carrera de liberación del espiral
Seguridad	Di	R	Mantener fijo el conjunto espiral amortiguador una vez comprimido
	Di	R	En caso de fallos en el circuito neumático disponer de elementos de seguridad para evitar que se suelte el muelle
Ventajas	Di	D	Ergonomía, velocidad y seguridad en el cambio de amortiguadores en suspensión con espirales

**Fuente:** Autores

### Diseño conceptual

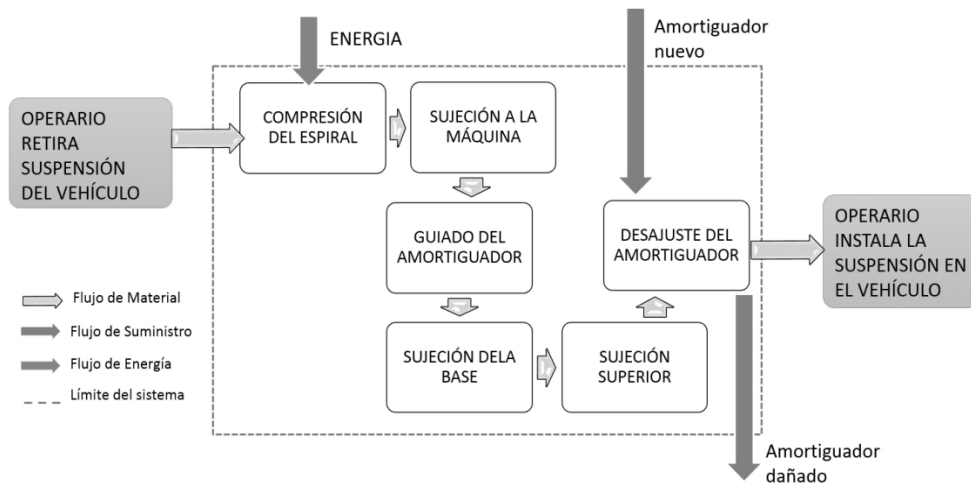
El diseño conceptual es una herramienta necesaria para establecer diferentes alternativas del elemento o mecanismo que se vaya a construir y con esto evitar errores futuros (Maury H, 2009). A continuación, se

realizó la caja negra de la herramienta como se puede apreciar en la siguiente figura, se especificaron los elementos de entrada, el espiral con el amortiguador defectuoso y los elementos de salida como el espiral con amortiguador cambiado.



**Figura 1.**  
Caja negra de funciones  
**Fuente:** Autores

En la siguiente figura se realizó el análisis de funciones y subfunciones en la cual se puede apreciar los elementos de los que estaría conformada dicha herramienta. Se establece la secuencia de funciones.



**Figura 2.**  
Análisis de funciones y subfunciones  
**Fuente:** Autores

Una vez establecido el funcionamiento de la herramienta se creó una matriz morfológica en la cual se muestran las diferentes alternativas para cumplir cada función.

**Tabla 2.**  
Matriz morfológica

Función	Alternativa			
	1	2	3	4
Compresión del espiral	Cilindro neumático  (A)	Cilindro hidráulico  (G)	Tornillo sin fin manual.  (M)	Pistola de impacto  (Q)
Soporte de la máquina	Con 3 tubos  (B)	Con 2 tubos  (H)	De un solo tubo  (N)	
Mecanismo de guía	Con barras guía  (C)	Mecanismo directo  (I)		
Mecanismo de sujeción en la base	Base helicoidal  (D)	Prensas  (J)	Garras  (O)	
Mecanismo de sujeción superior	Garras libres  (E)	Garras con mecanismo de bloqueo  (K)	Base helicoidal  (P)	
Sistema de seguridad	Puertas jaula  (F)	Cadena de seguridad (L)		

Fuente: Autores

- Alternativa 1: A, B, C, D, E, F, L
- Alternativa 2: G, H, C, J, K, F
- Alternativa 3: M, N, I, O, P
- Alternativa 4: Q, N, I, D, P

En la matriz morfológica se trazaron cuatro diferentes caminos. Cada uno de estos caminos nos mostró una configuración diferente de la herramienta. Existe una alternativa 1 que se fue por el camino de la herramienta neumática estacionaria; la alternativa 2 que era prácticamente parecida a la primera, pero con un accionamiento hidráulico; la alternativa 3, que era de accionamiento manual por medio de un tornillo de potencia y también de tipo estacionaria y por último la alternativa 4, que era una herramienta de uso portátil a la cual se la podía accionar con una pistola de impacto. A continuación, se realizó una evaluación de la alternativa 4 criterios, cuya máxima calificación es 5 como se muestra en las siguientes tablas (Hurtado C).

**Tabla 3.**  
Criterio de evaluación cualitativa y selección de alternativas

N°	Criterio o Atributos	Concepto				Total	Valor criterio
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4		
1	Montaje	Alto	Alto	Medio	Medio	16	0,32
2	Desempeño	Alto	Medio	Medio	Bajo	12	0,24
3	Mantenimiento	Medio	Medio	Bajo	Bajo	8	0,16
4	Accesibilidad de repuestos y costos	Alto	Bajo	Medio	Alto	14	0,28
Alto=5; Medio=3; Bajo=1 Valor criterio=Total/Suma total					Suma Total	50	

Valor del criterio	Alternativa / Criterios	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4	
		C	A	C	A	C	A	C	A
0,32	C1	5	0,016	5	0,016	3	0,0096	3	0,0096
0,24	C2	5	0,012	3	0,0072	3	0,0072	1	0,0024
0,16	C3	3	0,0048	3	0,0048	1	0,0016	1	0,0016
0,28	C4	5	0,014	1	0,0028	3	0,0084	5	0,014
		0,0468		0,0308		0,0268		0,0276	

Fuente: Autores

Según los cálculos obtenidos con la ponderación de criterio se optó por la alternativa de diseño 1, pues es la que alcanzó la máxima puntuación y a partir de este punto se inició con el diseño de detalle.

### Diseño de Detalle

#### Cálculo de la fuerza del cilindro

Se utilizó la fuerza en retroceso debido a que el cilindro trabaja de esa forma para que la herramienta sea más compacta. Para obtener la fuerza necesaria para comprimir un espiral automotriz, se sometieron varios de estos a un esfuerzo de compresión en la máquina universal, con lo cual se obtuvo un valor de 5702,6N. Con este resultado y una presión de trabajo de 10 Bar (presión máxima recomendado para aplicaciones neumáticas) se calculó el diámetro necesario del cilindro neumático y los demás parámetros que se tomaron en cuenta para la construcción de la herramienta neumática (International Training España, 2000).

$$F_{Rr}(+10\%) = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} * P * \mu$$

$$F_{Rr}(+10\%) = \frac{\pi(10^2 - 2.5^2)}{4} * 10.2 * 0.97$$

$$F_{Rr} = 7146,59 \text{ N}$$

#### Consumo del aire comprimido

$$V = \frac{\pi}{4} (2 * 10^2 - 2.5^2) * 30$$

$$V = 4565.13 \text{ cm}^3$$

$$V = 4.56 \text{ L por un ciclo de trabajo}$$

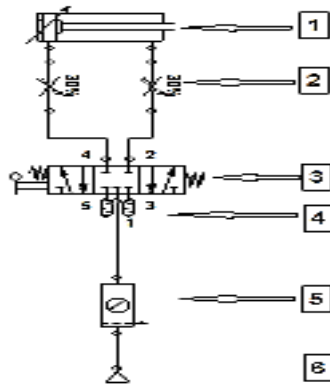
### Caudal para el cilindro de doble efecto

$$Q = 46.56 * 30\%$$

$$Q = 60.52 \text{ L/min}$$

### Selección de Componentes

Se simula el funcionamiento del circuito para determinar la cantidad y tipo de componentes neumáticos requeridos para el grupo de generación y transmisión de energía, el grupo de control y el grupo de ejecución.



**Figura 3.**

Simulación del circuito neumático

**Fuente:** Autores

**Tabla 4.**

Componentes requeridos para circuito neumático

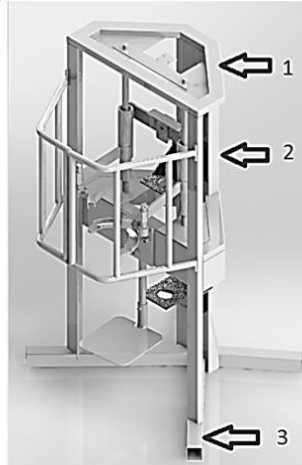
Nº de Identificación	Componente	Cantidad (unidad)
1	Cilindro Neumático de doble efecto	1
2	Regulador de caudal variable con check en paralelo	2
3	Válvula neumática 5/3 NC de accionamiento manual	1
4	Silenciador	1
5	Unidad de mantenimiento	1
6	Tubería de Poliuretano	4 (m)

**Fuente:** Autores

### Modelado CAD

Mediante la utilización de software CAD, se procedió al modelado de los elementos que soportan carga y la estructura base con perfiles provisionales, que posteriormente se validaron con el uso de software CAE. En la siguiente figura se muestra el modelo generado y se especifica el tipo de material utilizado, siendo:

- 1) Tubo rectangular de 50x25x1.5 mm,
- 2) Tubo rectangular de 150x25x2.5 mm,
- 3) Tubo cuadrado 50x50x1.5 mm



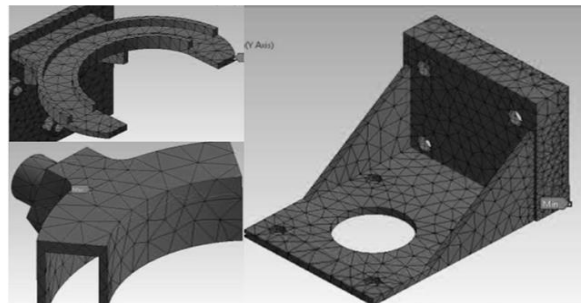
**Figura 4.**

Modelado CAD

**Fuente:** Autores

### **Diseño por resistencia mediante software CAE**

El diseño CAE es de vital importancia para el desarrollo de la herramienta neumática ya que gracias al empleo del método de elementos finitos, se puede dimensionar de manera correcta la estructura y obtener un factor de seguridad apto para la posterior construcción. El método de análisis es un diseño por resistencia estática, para ello es necesario determinar el esfuerzo de Von-Mises que, en relación al límite de fluencia del material, se calcula un factor de seguridad. Es necesario también determinar las deformaciones producidas por los esfuerzos generados en el material y que pueden generar mal funcionamiento de la herramienta en caso de ser muy grandes (Shigley J, Mishke Ch, 2002). De esta manera se obtuvo un esfuerzo máximo de 183,63 MPa, factor de seguridad general 1.3 aproximadamente que al ser mayor a 1 no se produce falla por fluencia en el material. El análisis de deformaciones mostró una deformación en la estructura de 2.4 mm en la zona crítica y que no supone ningún fallo en el funcionamiento de la herramienta.



**Figura 5.**

Esfuerzos producidos en diferentes componentes de la herramienta

**Fuente:** Autores

A continuación, se detalla una tabla con los resultados obtenidos del análisis por elementos finitos.

**Tabla 5.**  
Resultados generales del análisis CAE.

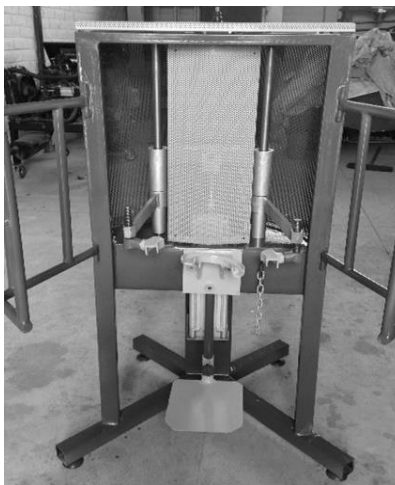
Elemento	Factor de seguridad (Min/Max)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Deformación máxima (mm)	Concentración de esfuerzos	Punto crítico
Estructura	1,96/15	127,7	1,26	Si	No
Guía eje	1,79/15	115,67	1,24	Si	No
Brazo	1,37/15	183,63	1,30	Si	Si
Acople	1,75/15	142,71	1,60	Si	No
Garra de sujeción	2,96/15	84,39	2,40	Si	No
Matriz	1,69/15	148,24	0,8	Si	Si
Regulador	1,62/15	154,25	1,4	Si	No
Soporte barra de fuerza	8,86/15	28,19	Casi nula	No	No
Soporte cilindro	1,7/15	146,91	0,15	Si	No
Vástago	7,97/15	31,35	Casi nula	No	No
Barra de fuerza	6,72/15	37,18	Casi nula	No	No

Fuente: Autores

## Resultados

### Construcción de la Herramienta Neumática

Una vez realizados todos los cálculos, se procedió a la construcción de la herramienta neumática con acero ASTM A36 el cuál fue soldado con soldadura eléctrica y electrodo 6011, después del mecanizado de todas las partes se dio fondo a todos los elementos y se procedió a la pintura final.



**Figura 6.**

Herramienta neumática terminada.

Fuente: Autores

### Descripción de la herramienta neumática

La herramienta neumática orientada al cambio de amortiguadores con espirales trabaja con una presión de entre 6 a 10 Bar y consta de un cilindro neumático que imprime la fuerza necesaria para comprimir el espiral, un juego de tres bases helicoidales intercambiables para diferentes diámetros de espiral, puertas de seguridad y cadena de seguridad para proteger la integridad física del operario, un par de barras guía y collarines que conducen el movimiento del cilindro, un par de brazos con garras ajustables que se sujetan al espiral para comprimirlo, una base frontal para mantener el amortiguador en su lugar durante el recambio, una palanca de accionamiento para manipular el cilindro neumático y una unidad de mantenimiento para asegurar la lubricación del circuito neumático y regular la presión de aire.

### Manual de uso y de funcionamiento

A continuación, se presenta una guía del funcionamiento de la herramienta que le sirve al operario para realizar el cambio del amortiguador. Además, se presenta un manual de mantenimiento preventivo para alargar la vida útil de la herramienta.

**Tabla 6.**

Manual de mantenimiento y procedimiento

Paso	Procedimiento
1	Colocar la base inferior con el diámetro que más convenga en la placa frontal
2	Colocar el amortiguador con el espiral defectuoso
3	Colocar las garras superiores, se puede accionar el cilindro en esta instancia para regular al igual que los tornillos reguladores
4	Colocar la cadena de seguridad y cerrar la puerta de seguridad
5	Accionar el cilindro moviendo la palanca de accionamiento para comprimir el espiral
6	Realizar la compresión
7	Retirar el amortiguador defectuoso sin abrir la puerta de seguridad usando una pistola de impacto
8	Colocar el nuevo amortiguador y sujetarlo con la base inferior de sujeción para evitar su movimiento
9	Montar el amortiguador con una pistola de impacto y accionar hacia atrás la palanca del cilindro para descomprimir.
10	Abrir la puerta de seguridad, quitar la cadena, quitar las garras y quitar el espiral con el amortiguador nuevo.
Paso	Procedimiento
1	Mantener la unidad de mantenimiento con el lubricante especificado en esta. Usar una delgada capa de lubricante SAE 10 o de aceite a base de teflón en las
2	barras guía de la herramienta neumática y en los tornillos reguladores de las garras, antes y después de su uso.
3	Manipular cuidadosamente la palanca de accionamiento del cilindro sin aplicar demasiada fuerza, pues esta se acciona fácilmente.

**Fuente:** Autores

Una vez ensamblada y terminada la herramienta neumática, se pudieron evidenciar sus bondades y sus ventajas respecto a las herramientas convencionales. Principalmente al realizar pruebas de funcionamiento, se pudo constatar que un recambio en la herramienta neumática toma aproximadamente 4 min mientras que en el resto de herramientas manuales toma aproximadamente 12 min, siendo tres veces más rápida. También,



además de garantizar la integridad física del operario es muy fácil e intuitiva de usar por lo cual no se necesita de ningún especialista.

### **Discusión**

La herramienta cumple con su objetivo, la disminución del tiempo de recambio es muy significativa, podría significar un ahorro de costos de operación importante en un taller especializado en suspensiones automotrices, por otro lado, existen ciertos factores que se deben tomar en cuenta a la hora de su manipulación como: Mantener la puerta de seguridad cerrada y la cadena sujeta a la espiral antes de realizar la compresión de éste, para que, en caso de accidentes, el espiral no se mueva más allá de la jaula de seguridad y el operario se mantenga a salvo en todo momento. Mantener lubricados los ejes guía durante el funcionamiento de la herramienta neumática y verificar que el nivel de aceite sea correcto en la unidad de mantenimiento. Antes de usar la herramienta neumática, leer detenidamente el manual de usuario para evitar daños al operario como a la herramienta. Si la herramienta va a ser conectada por primera vez a la alimentación de aire, tener en cuenta que el cilindro saldrá rápidamente debido a que este se está llenando, luego de un ciclo de trabajo quedará listo para su uso.

### **Conclusiones**

Con este trabajo se desarrolló una herramienta para el cambio de amortiguadores en suspensiones tipo Mac Pherson de funcionamiento rápido, eficiente y seguro, además el uso de metodologías de diseño mecánico, simulador y los programas CAD-CAE, permitieron el diseño y por ende la construcción óptima de la herramienta neumática.

La selección de la alternativa 1, valida la hipótesis de que un actuador neumático puede realizar un trabajo de manera más rápida eficiente y segura, es así que en las pruebas de funcionamiento se determina que la herramienta realiza el trabajo de cambio de amortiguador tres (3) veces más rápido que el realizado por herramientas convencionales. La guía de funcionamiento y el manual de mantenimiento le sirve al operario de la herramienta, para ejecutar correctamente los pasos de cambio del amortiguador y además el cumplimiento de las recomendaciones de mantenimiento alargará la vida útil de la herramienta, de esta manera se puede presentar como una alternativa para la comercialización en talleres automotrices especializados en arreglos de suspensión.

### **Agradecimiento**

Un agradecimiento especial a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo “ESPOCH”, a Daniel Aguilar Loayza que participó en este proyecto.

### **Referencias**

- Bolaños, D. (2007). *Planificación y programación del mantenimiento de parque automotor del departamento de obras públicas de Latacunga, mediante el uso de ISO 9000*. Latacunga, Ecuador: Espe.
- Calvo M, Jesús & Miravete De Marco (1997). *Mecánica del automóvil*. Zaragoza, España: INO reproducciones.
- Creus Solé, Antonio (2011). *Neumática e hidráulica*. Barcelona, España: Marcombo.
- Cultural (2000). *Enciclopedia práctica del automóvil*. Madrid, España: Aneto- ETAI.
- Cultural (2002). *Manual de mecánica industrial*. Madrid, España: Cultural.

- Deppert W, S. K. (2000). *Aplicaciones de la neumática*. Bogotá, Colombia: Alfaomega.
- Hurtado C, V. R. (s.f.). *Diseño conceptual, generación y evaluación de alternativa*. Universidad del Atlántico.
- International Training España, S. (2000). *Neumática*. Madrid, España: Thomson-Paraninfo.
- Maury H., N. E. (2009). *Diseño para la manufactura y ensamblaje de productos soldados, un enfoque metodológico y tecnológico*. Barranquilla, Colombia: Uninorte.
- Nicolás, A. S. (2009). *Neumática práctica*. Madrid, España: Paraninfo
- OIT (2017). *Seguridad y salud en el trabajo*.
- Pahl y Beitz (1977). *Engineering design: a systematic approach*. New York, Estados Unidos: Springer Verlag.
- Riba C, M. A. (2006). *Ingeniería Concurrente: Una metodología integradora*. Barcelona, España: Edicions UPC.
- Roldán J. (2003). *Neumática, hidráulica y electricidad aplicada*. Madrid, España: Thomson.
- Roldán J. (2012). *Tecnología y circuitos de aplicación de Neumática, Hidráulica y Electricidad*. Madrid, España: Paraninfo.
- Serrano N. (2009). *Neumática práctica*. Madrid, España: Paraninfo
- Shigley J, Mishke Ch. (2002). *Diseño de ingeniería mecánica*. México, México: Mc Graw Hill.
- Training, I. (2003). *Neumática*. Madrid, España: Thomson.

# Degradación del acero ASTM A36 por efecto de Termofluencia

**Jorge Isaías Caicedo Reyes**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
jorge.caicedo@esPOCH.edu.ec

**Catalina Margarita Verdugo Bernal**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
cverdugo@esPOCH.edu.ec

**Otto Fernando Balseca Sampedro**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
otto.balseca@esPOCH.edu.ec

## Resumen

Termofluencia es la combinación simultánea de carga y temperatura elevada a la que se expone un material por un período de tiempo y en el cual su comportamiento mecánico, constituye un nuevo campo de investigación. El objetivo de esta investigación es obtener información del efecto de la termofluencia a nivel microestructural y físico (microdureza) en el acero ASTM A36 aplicando un esfuerzo moderado (1223 Kg/cm<sup>2</sup>) en un rango de temperatura (550 a 530oC). La metodología empleada fue analítica, cualitativa, cuantitativa, lógica deductiva y experimental. Los ensayos se realizaron según la Norma ASTM E139, empleando especímenes planos de sección reducida dimensionados según la Norma ISO 6892:1998 (E). De los especímenes sometidos o termofluencia, se extrajeron probetas de la zona fracturada para realizar ensayos metalográficos y de microdureza. Los resultados mostraron que a la temperatura de 535 oC en un tiempo máximo de 3 días de ensayo, el material no presenta transformaciones relevantes a nivel microestructural, pero a partir de 540oC se evidenciaron claramente los efectos de termofluencia en el material tanto a nivel microestructural por la presencia de cavidades características debido al movimiento de dislocaciones, como a nivel de su dureza por la formación de fases blandas.

**Palabras claves:** Termofluencia, Dislocación, Degradación, Acero ASTM A36.

## Abstract

Creep is a simultaneous combination of load and high temperature in which a material is subjected to for a period, and in which the mechanical behavior is a new field of research. The objective of this investigation is to obtain information about creep at microstructural and physical level (Micro-hardness) on an ASTM A36 steel, due to a moderate applied stress (1223.14 kg/cm<sup>2</sup>) in a temperature range (535 °C to 550 °C). The methodology applied was analytic, qualitative, deductive logic and experimental. Tests were performed under ASTM E-139 standard using flat reduced section samples; they were sized according to ISO 6892:1998(E). The samples used for metallographic and micro-hardness, samples were extracted from the fractured zone of the specimens subjected to creep. The results showed that at the temperature of 530 °C in a test having a maximum last of three days. The material did not show relevant transformations at microstructural level, however from 535°C the effects of creep on material were observed clearly, at microstructural level because of presence of characteristic cavities generated by movement of dislocations as well as at hardness level due to of formation of soft phases.

**Keywords:** Creep, Dislocation, Degradation, Steel ASTM A36.

## Introducción

### Introducción al problema

La termofluencia es un fenómeno que lo definen como aquel que se produce por la combinación de carga y temperatura elevada, considerando como elevada a una  $T > 0.3-0.4T_f$ , fusión para metales, otros materiales como los cerámicos poseen su propio rango de temperatura. (Ali Morovat, y otros, 2012, pp. 786-788). El ensayo de termofluencia proporciona información primordial sobre la correlación entre las tensiones que actúan sobre el material, la temperatura y el tiempo de falla, la termofluencia, es un fenómeno poco familiar (si se lo quiere relacionar con las deformaciones elásticas o plásticas) el cual depende de la temperatura a la que se encuentra trabajando el material (Ashby & D., 2011, pp. 311-312)



**Figura 1.**

Curva ideal de termofluencia

**Fuente:** (Caicedo, 2014, pág. 16)

La Figura 1 muestra la curva ideal de termofluencia (Deformación-Tiempo), la elongación instantánea que se observa es resultado del esfuerzo aplicado. La curva consta de tres etapas, una primera etapa en la que los mecanismos de deformación endurecen el material, por lo que la velocidad de deformación decrece y con ello la tangente de la curva; luego se tiene una segunda etapa en la que la pendiente de la curva permanece constante ya que los mecanismos de endurecimiento por deformación se equilibran con los mecanismos de aniquilación de endurecimiento por deformación, con la particularidad que además aparecen los mecanismos generadores de dislocaciones y los mecanismos de aniquilación de dislocaciones. Luego tenemos una tercera etapa donde los mecanismos de aniquilación de endurecimiento por deformación y los mecanismos generadores de dislocaciones prevalecen de tal manera que el material se deforma rápidamente y las dislocaciones producidas en su interior conllevan rápidamente a la fractura del material (González, 2003, pp. 231-236).

El acero ASTM A36 es muy comercial por muchas de sus bondades, entre ellas: su maleabilidad, su facilidad para ser soldado, maquinado, aceptable resistencia y relativamente bajo precio, llegando así a ser muy utilizado por el gremio industrial y artesanal en la fabricación de muchos equipos, instalaciones y componentes mecánicos, tales como: estructuras metálicas, calderos, intercambiadores de calor, hornos, etc.

Se sabe que las propiedades del material están vinculadas con su composición química, su procesamiento y la microestructura resultante. Las propiedades que dependen de la microestructura se llaman “structure sensitive properties”, por ejemplo, el límite elástico o la dureza (Brnic, Canadija, Turkalj, & Lanc, 2010, pp. 1083-1089);

como afecta la termofluencia la microestructura y dureza del material que definen de alguna manera las propiedades del material es el objetivo de esta investigación.

Este análisis, como se puede notar, es de relevancia ya que este fenómeno probablemente involucre degradación microestructural que al ignorarla (como en la actualidad) puede o podría conllevar a serios errores de diseño, convirtiéndose éstos en un riesgo potencial para las vidas humanas, como en el caso de estructuras cerradas donde existe una alta probabilidad de producirse un incendio que simule las condiciones para que ocurra termofluencia. En este trabajo, se busca evaluar el comportamiento de este material frente al fenómeno de termofluencia, por ello se realizó un análisis de su microestructura resultante y dureza, con el fin de contribuir así con datos experimentales que sean considerados en el diseño y que garanticen una operación segura y confiable de equipos en cuyos componentes se haga uso del acero ASTM A36 sometidos a termofluencia.

### **Importancia del problema**

A lo largo de una extensa revisión de la literatura sobre esta temática, se nota que el estudio de este fenómeno es relativamente nuevo, existiendo una escasez de datos experimentales sobre el comportamiento de aceros estructurales frente al fenómeno de termofluencia, por lo que, no se incluyen reglas de prevención para este fenómeno en las normas de construcción Caicedo I, con su grupo de investigación realizaron el análisis de la degradación del acero ASTM A36 sometido al fenómeno de termofluencia, aplicando una carga moderada a las temperaturas de 500, 550, 600 y 650oC. En los resultados notaron que a la temperatura de 500oC no encontraron termofluencia, pero a partir de 550oC, los efectos de este fenómeno se evidenciaron claramente. El objetivo de esta investigación es continuar con este trabajo en el rango de 500 a 500oC, con el fin de detectar con mayor precisión la temperatura a la cual inician los efectos de termofluencia en este acero. Algunos trabajos relevantes en otros materiales sometidos a termofluencia, los consideramos útiles tenerlos en cuenta y los mencionamos a continuación:

Los estudios para analizar el efecto de la termofluencia en el acero inoxidable austenítico 316 han empleado el ensayo mediante indentación a distintas temperaturas (650, 675 y 700 °C) para posteriormente caracterizar su comportamiento mediante la velocidad de termofluencia, el esfuerzo y tiempo de ruptura. En esta investigación se muestran fotomicrografías posteriores al ensayo donde se observan los efectos a nivel microestructural de la termofluencia para este acero en específico (Saucedo-Muñoz, Komazaki, Hashida, & López-Hirata, 2015, pp. 1-9).

(Williams & Leir, 1983, pp. 73-78), ha dedicado como fin de su investigación el determinar “expresiones analíticas” que permitan predecir el tiempo de vida de un acero estructural reforzado con concreto y expuesto a altas temperaturas provenientes de fuego, concluyendo que la exposición a altas temperaturas si provoca un deterioro más acelerado en el material.

(V. K. R. Kodur, 2010, pp.1327-1341) en su estudio analiza los efectos de la temperatura en elementos cargados y como la termofluencia afecta el rendimiento de dicho acero, brinda como ejemplo, el caso típico de un miembro estructural actuando bajo un incendio e investiga, como el fuego reduce el tiempo de vida de estos elementos empleando modelos matemáticos y un software especializado como ANSYS. Finalmente culmina la investigación indicando que, al no considerarse este efecto en el diseño, el factor de seguridad se reduce ya que éste no será completamente conservador

Debido a la limitada información sobre la resistencia de aceros a la termofluencia, (V. K. Kodur, 2015, pp. 1-10) ve la necesidad de estudiar el efecto de la termofluencia a altas temperaturas enfocándose en las deformaciones que se puedan presentar. Se llevaron a cabo ensayos en el material especificado a las temperaturas que se someterían en caso de incendio, dando como resultado que efectivamente la temperatura tiene una influencia considerable en la deformación progresiva que suceda durante la inflamación.

(Ali Morovat, Lee, Engelhardt, Taleff, Helwig & Segrest, 2012, pp. 786-793), han realizado una comparación entre los modelos teóricos de Harmathy y Fields con resultados experimentales de termofluencia en un acero ASTM A992, utilizando dos tipos de perfiles y concluyendo que estos tienen un gran margen de error comparado con los datos reales obtenidos, señalando así la necesidad de modelos teóricos más precisos.

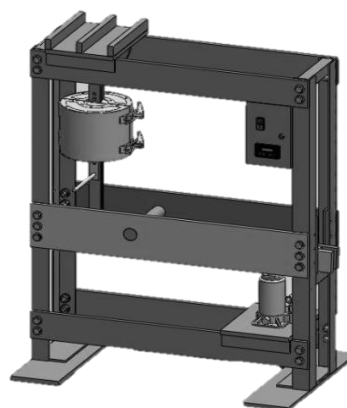
(Cowan, 2014, pp. 1-9) se enfoca en la modelación matemática de la termofluencia a alta temperatura mediante el ensayo del acero ASTM A992, en el que propone una relación manejando una función de seno hiperbólico. (Zeng, Tan, & Huang, 2003, pp. 951-970) en su investigación proponen un método semi-analítico para predecir la resistencia al fuego de columnas de acero, a través de un modelo matemático simplificado, concluyendo que éste último exhibe un margen de error pequeño, admisible para el diseño de estructuras.

### **Metodología**

Para llevar a cabo la caracterización microestructural del acero ASTM A36, sometido a termofluencia se utilizó los métodos: analítico, cualitativo, cuantitativo, experimental y lógico deductivo. (La investigación científica o método experimental constituye un método empírico enfocado al estudio directo del fenómeno, con el fin de determinar sus propiedades y relaciones útiles a la investigación a través del control de las condiciones en que se desarrolla. El método lógico deductivo aplica los principios descubiertos a casos particulares a partir de un enlace de juicios, para descubrir consecuencias desconocidas de principios conocidos.) Se realizaron varios ensayos de termofluencia a distintas temperaturas de interés: 500, 550, 600 y 650°C, siguiendo el procedimiento indicado en la norma ASTM E139.

### **Equipo y especímenes utilizados**

Los ensayos de termofluencia se realizaron en la máquina construida en un programa de maestría (Figura 2).



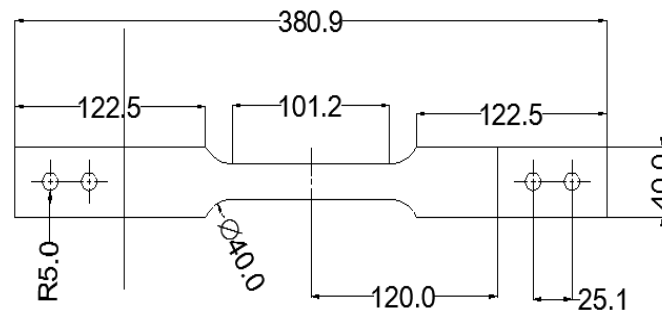
**Figura 2.**

Equipo empleado en el ensayo de termofluencia

**Fuente:** (Caicedo Reyes, 2014, p. 58)

Consiste en una estructura que sustenta un eje que sirve de pivote para una palanca; la fuerza para tensionar los especímenes es aplicada con una gata hidráulica en el extremo de mayor longitud de la palanca con respecto al eje (pivote), la gata hidráulica dispone un manómetro con la finalidad de poder apreciar la carga aplicada. Por medio de un mecanismo acoplado a la palanca se tensiona los especímenes. La temperatura requerida se consigue con un horno tipo libro de resistencias eléctricas, en cuyo interior se censa la temperatura con una termocupla tipo K que opera con un controlador digital tipo K. (Caicedo Reyes, 2014, p. 34)

Para realizar los ensayos de termofluencia se emplearon especímenes planos de sección reducida obtenidos en dirección paralela a la laminación de la plancha y dimensionados según la norma ISO 6892:1998 (E) (Figura 3.).



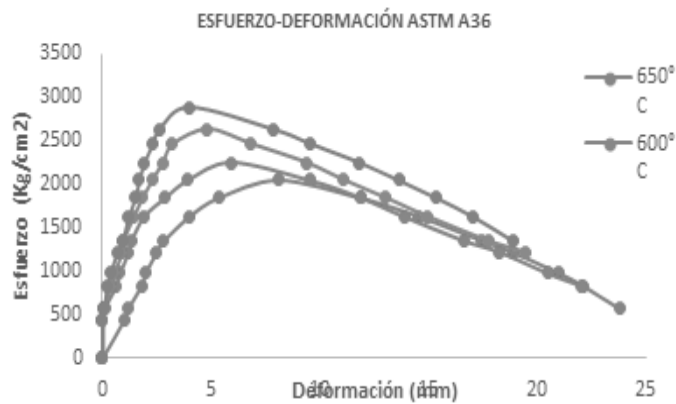
**Figura 3.**

Geometría y dimensiones del espécimen empleado

Fuente: (Caicedo, 2014, pág. 60)

### Determinación del Esfuerzo que se debe aplicar

Con el fin de determinar un esfuerzo adecuado para que se produzca termofluencia a las temperaturas de 500, 550, 600 y 650oC, se realizaron ensayos de tracción a las temperaturas de interés, obteniendo el comportamiento del material mediante los diagramas Esfuerzo-Deformación (Figura 4.).



**Figura 4.**

Diagramas Esfuerzo-Deformación a las temperaturas de 500, 550, 600 y 650 °C

Los datos de interés de la Figura 4, los registramos en el Cuadro 1 para una mejor apreciación cuantitativa, se observa que a mayor temperatura disminuye el esfuerzo que soporta el acero ASTM A36, pero la deformación aumenta conforme se incrementa la temperatura aplicada en cada ensayo.

**Tabla 1.**  
Registro de esfuerzo máximo y deformación a las  
temperaturas de 500, 550, 600 y 650° C.

Temperatura (°C)	Deformación (mm)	Esfuerzo Máximo (kg/cm <sup>2</sup> )
500	4,00	2892
550	4,85	2640
600	5,93	2256
650	8,10	2052

Tomando en cuenta los esfuerzos máximos de la Tabla 1 y utilizando el parámetro de Larson-Miller se extrapoló los datos encontrados, considerando como tiempo máximo de ensayo 3 días; determinando así el esfuerzo de 1223 kg/cm<sup>2</sup>(119,95 MPa) correspondiente al 47,98% del esfuerzo de fluencia del acero ASTM A36 (250 MPa), por lo tanto, se consideró válido este esfuerzo debido a que siempre que la temperatura sea relativamente alta, y se aplique una carga por debajo del nivel del esfuerzo máximo, la deformación plástica que ocurre es dependiente del tiempo, lo que se conoce como termofluencia. (Ashby & Jones, 2008, págs. 311-322)

### Descripción de los ensayos

Definidos los parámetros de temperatura y esfuerzo, se procedió a realizar 3 ensayos por cada temperatura de interés, manteniendo el esfuerzo constante para todos los ensayos. El procedimiento para efectuar el ensayo de termofluencia menciona que, hay que llegar a la temperatura de interés y una vez estabilizada esta temperatura hay que aplicar rápidamente la carga.

De los especímenes sometidos a termofluencia, se extrajeron probetas de la vecindad de la fractura para efectuarles ensayos metalográficos a 100 micrones y de microdureza a 100 um, 2, 4, 6, 8, 10, 13 y 18 mm a partir de la fractura, con la finalidad de analizar cambios a nivel microestructural y de su dureza por efecto del fenómeno de termofluencia

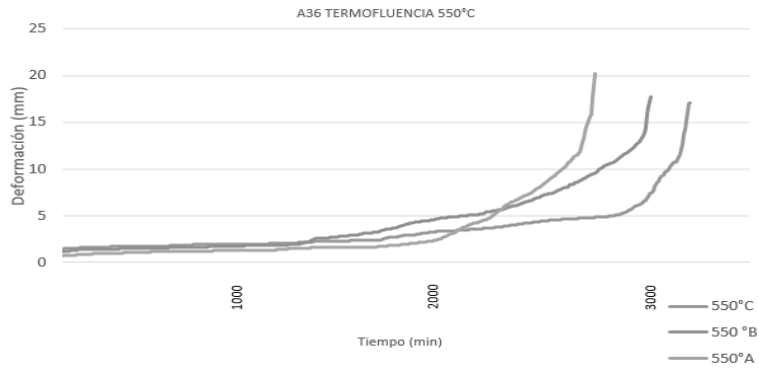
El método de la sección describe en detalle cómo se llevó a cabo el estudio, incluyendo las definiciones conceptuales y operacionales de las variables utilizadas en el estudio, diferentes tipos de estudios se basan en diferentes metodologías.

Sin embargo, una descripción completa de los métodos utilizados permite al lector a evaluar la idoneidad de los métodos y la fiabilidad y la validez de sus resultados, sino que también permite a los investigadores con experiencia para replicar el estudio, si su manuscrito es una actualización de un curso o anterior el estudio y el método ha sido publicado en detalle en otra parte, es posible que remitir al lector a esa fuente y simplemente dar una breve sinopsis del método de esta sección.

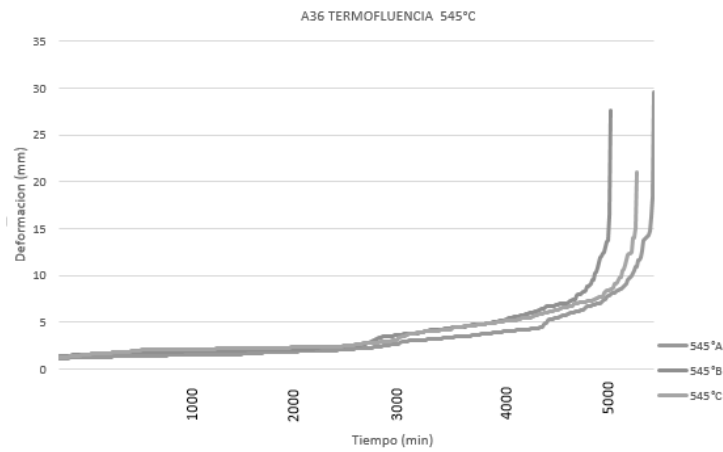


## Resultados

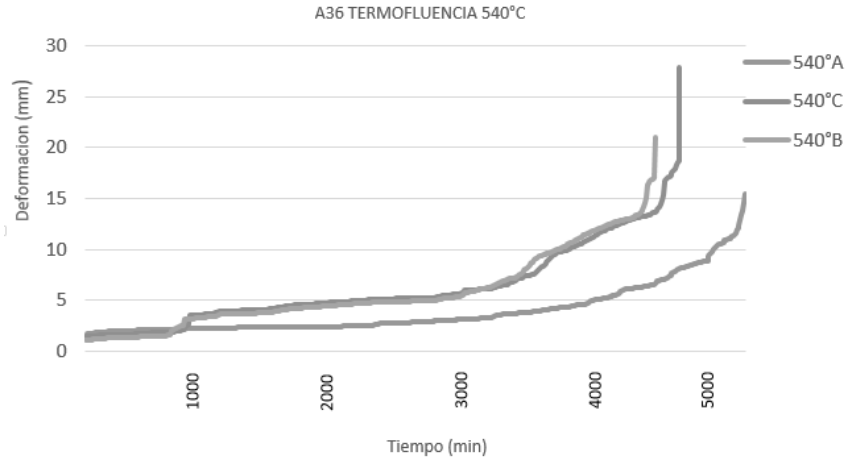
Luego de efectuar los ensayos con la metodología y probetas detalladas en el punto anterior, fue posible obtener datos continuos de la deformación en función del tiempo durante todo el ensayo hasta su fractura, de acuerdo con las diferentes temperaturas ensayadas estos se muestran en las Figuras siguientes.



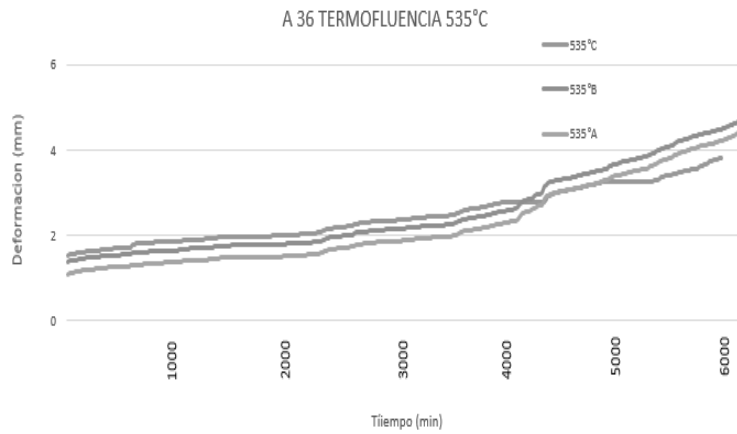
**Figura 4.**  
Deformación-Tiempo. Temperatura 550°C



**Figura 5.**  
Deformación-Tiempo. Temperatura 545°C.



**Figura 6.**  
Deformación-Tiempo. Temperatura 540°C



**Figura 7.**  
Deformación-Tiempo. Temperatura 535°C

La deformación instantánea que presentaron los ensayos una vez aplicada la carga inicial de termofluencia lo muestra la Tabla 2. Además, se cuantificó el porcentaje de reducción de área y de elongación que sufrió el material, mostrando los resultados en la Tabla 3

**Tabla 2.**  
Deformación instantánea a las temperaturas de 550, 545, 540 y 535°C.

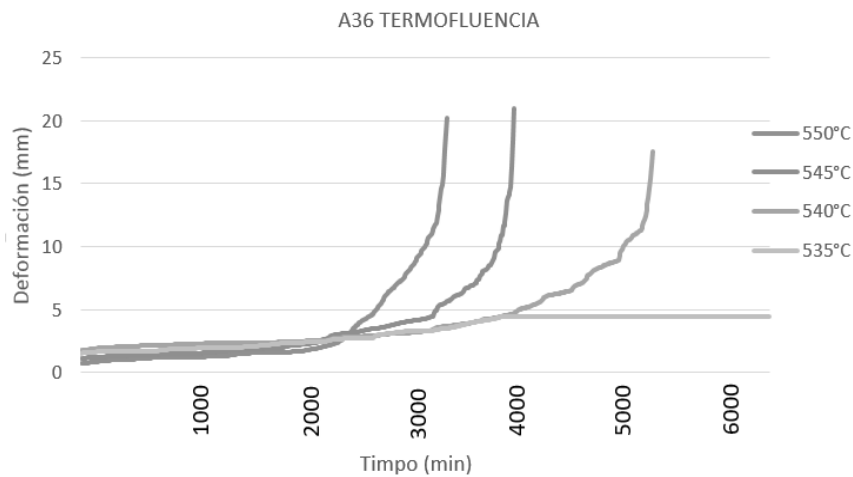
Temperatura (°C)	550	545	540	535
Deformaciones Instantáneas (mm)	0,69	1,56	1,25	1,44

**Tabla 3.**

Duración de ensayo y porcentaje de reducción de área y elongación a las temperaturas de 550, 545, 540, 535 y 530°C.

Ensayo (° C)	Duración del ensayo(min)	Reducción del Área (%)	Elongación (%)
550	3080	79,10	6,17
545	4662	79,64	5,66
540	5169	77,74	5,02
535	5760	28	1,36
530	5760	14,5	1,13

A continuación, la Figura 8 muestra la curva Deformación-Tiempo en una recopilación de todos los ensayos realizados, esto es a partir del ensayo a 535°C.

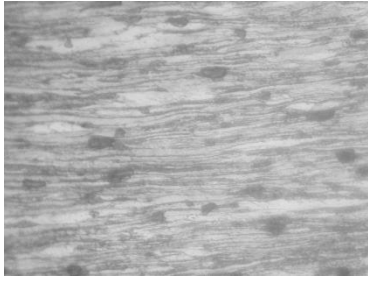


**Figura 8.**

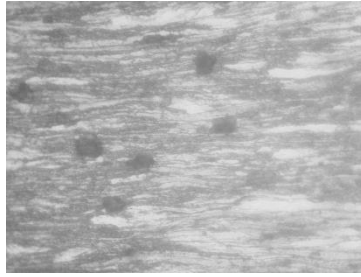
Incremento de la pendiente de la curva Deformación-Tiempo a medida que la temperatura de ensayo aumenta.

### Ensayos Metalográficos

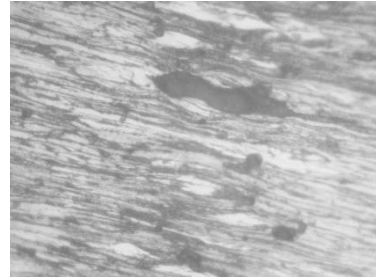
A 100 micrones de la fractura se efectuaron ensayos metalográficos a 500x, las probetas se atacaron con Nital al 4% y las fotografías que se muestran en las Figuras 8, 9, 10 y 1, las cuales corresponden a los especímenes ensayados a las temperaturas de 500, 550, 600 y 650° C respectivamente.



LOC-A36-T530-M-1



LOC-A36-T530-M-2



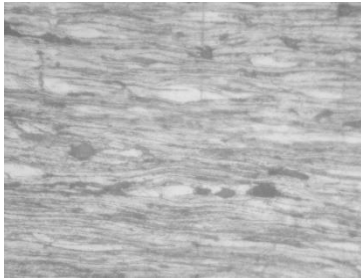
LOC-A36-T530-M-3

**Figura 9.**

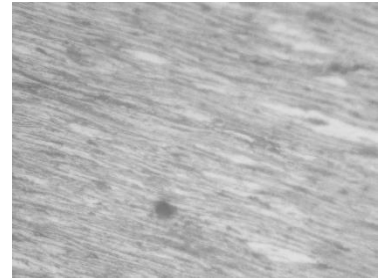
Microestructuras. Temperatura de ensayo 550°C a 100 μm de la fractura.



LOC-A36-T530-M-1



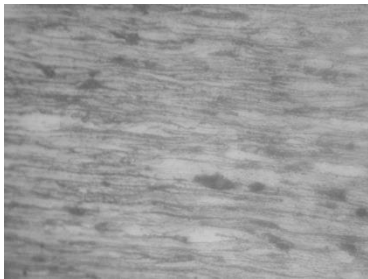
LOC-A36-T530-M-2



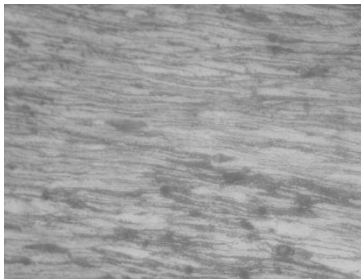
LOC-A36-T530-M-3

**. Figura 10.**

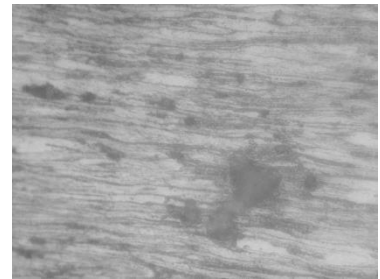
Microestructuras. Temperatura de ensayo 545°C a 100 μm de la fractura



LOC-A36-T530-M-1



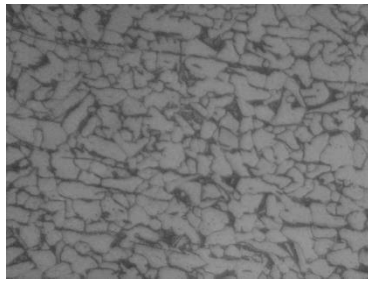
LOC-A36-T530-M-2



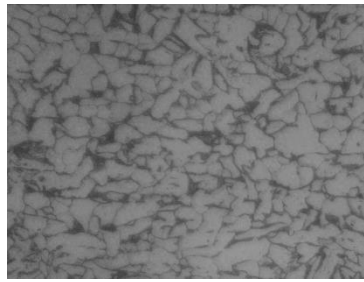
LOC-A36-T530-M-3

**Figura 11.**

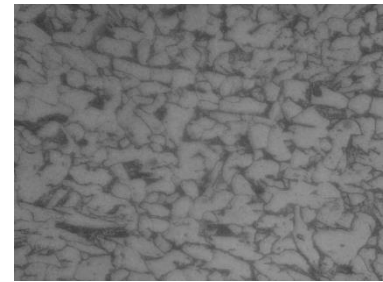
Microestructuras. Temperatura de ensayo 540°C a 100 μm de la fractura



LOC-A36-T530-M-1



LOC-A36-T530-M-2



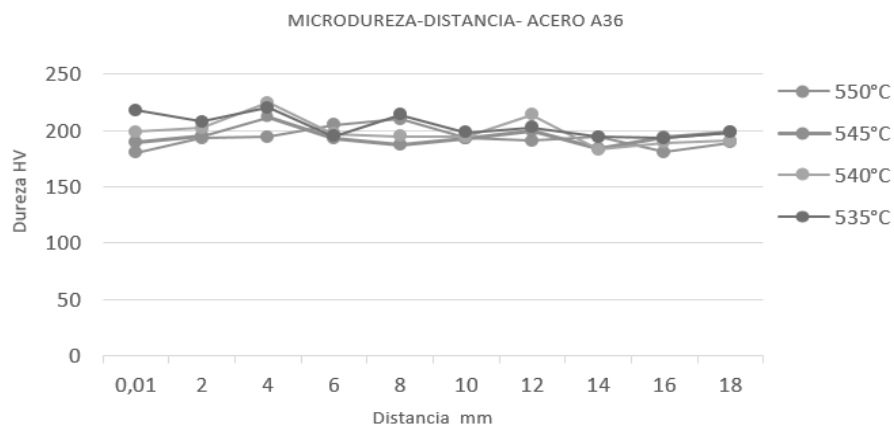
LOC-A36-T530-M-3

**Figura 12.**

Microestructuras. Temperatura de ensayo 535°C a 100 μm de la fractura

### Ensayos de Microdureza

Se realizó un barrido a partir de la fractura y a las distancias de: 100 um, 2, 4, 6, 8, 10,12, 14, 16 y 18 mm, se realizaron ensayos de microdureza ya que en esta zona se apreciaban cambios microestructurales. Los resultados promedios se muestran a continuación en el diagrama de la Figura 13.



**Figura 13.**

Gráfica de Microdureza-Distancia a partir de la fractura de las muestras extraídas de los especímenes ensayados a 550, 545, 540 y 535°C.

### Discusión

En las Figuras 4, 5 y 6 son claramente apreciables las tres etapas de la curva de termofluencia, llegando a producirse la fractura del material en el tiempo indicado en la Tabla 3 para cada temperatura de interés. Nótese que a mayor temperatura los porcentajes de reducción de área y de elongación aumentan drásticamente pese a que los tiempos de ensayo disminuyeron, es así como a la temperatura de 550°C se obtiene un porcentaje de reducción promedio del área de 91,47% y una elongación promedio de 47,6% en un tiempo de ensayo promedio de 29 minutos. A 535°C la curva de termofluencia (Figura 4) se encuentra incompleta con respecto a la curva ideal, ya que el fenómeno sólo alcanza su segunda etapa sin llegar a producir la fractura en el tiempo máximo considerado de ensayo (3 días). Al obtener estos resultados es muy claro notar que el fenómeno de termofluencia no produjo efectos en el material; además la Tabla 3 muestra que el porcentaje de reducción de área y de elongación son relativamente bajos evidenciando aún más lo anterior.

En las Figuras 5, 6 y 7 resultan notorias las tres etapas de la curva de termofluencia, llegando a producirse la fractura del material en el tiempo indicado nuevamente en la Tabla 3. Nótese que, a mayor temperatura los porcentajes de reducción de área y de elongación aumentan drásticamente pese a que los tiempos de ensayo disminuyeron, es así como a la temperatura de 650°C se obtiene un porcentaje de reducción promedio del área de 79,1% y una elongación promedio de 6,17% en un tiempo de ensayo promedio de 3080 minutos.

Por otro lado, si observamos la Tabla 2, en cuanto a la deformación instantánea en cada caso, es importante observar que conforme es mayor la deformación instantánea a medida que la temperatura del ensayo esta aumenta. Y en cuanto al tiempo declaramos que, a medida que la temperatura del ensayo aumenta, el tiempo de ensayo disminuye de acuerdo con analizado de los resultados mostrados en la Tabla 3.

Para las deformaciones posteriores, es decir durante todo el ensayo (mostradas en la Figura 8), los resultados dan indicios de que a la temperatura de 535°C con carga de 1223.kg/cm<sup>2</sup> (119,95MPa), el acero ASTM A36 no presenta degradación por termofluencia, pero sí a las temperaturas de 540, 545 y 550°C. Por esta razón y con motivo de consolidar lo mencionado se efectuó un análisis metalográfico a las probetas extraídas de la zona de la fractura (Figuras 9, 10, 11, 12)

En las micrografías de la Figura 9 de los especímenes ensayado a 550°C se observa la aparición de cavidades tipo R a lo largo de los límites de grano, éstas son cavidades esféricas y muestran que el material resultó afectado por el fenómeno de termofluencia. Aunque son de pequeño tamaño, constituyen un sumidero de concentración de esfuerzos que promueven la falla del material y constituyen una de las principales razones de porque la probeta se fracturó en el ensayo. Las microestructuras de los especímenes ensayados a 545°C (Figura 10) también muestran cavidades tipo R a lo largo de los límites de grano, pero en menor cantidad y dimensión que las microestructuras de los especímenes ensayados a 550°C, lo que indica que nuevamente el material resulta afectado a nivel microestructural por termofluencia, pero en menor grado que a la temperatura de 550°C, aun así, la probeta llego a la fractura. Las microestructuras de los especímenes ensayados a 540°C (Figura 11) también presentan cavidades tipo R a lo largo de los límites de grano, pero en menor cantidad y dimensión que las microestructuras de los especímenes ensayados a 545°C, lo que indica que nuevamente el material resulta afectado a nivel microestructura por termofluencia, pero en menor grado que a la temperatura de 545oC, esto implica que la probeta llego a la fractura.

En el Gráfico No.13 se observa que en la zona más cercana a la fractura (100 µm) se produce una variación de dureza. A la temperatura de 535oC el material presenta un endurecimiento por deformación y éste es el comportamiento habitual del acero ASTM A36 a temperatura ambiente, pero a partir de 540oC observamos que el material se torna más blando, pues predominan los mecanismos que dan lugar al apareamiento de fases blandas, que hacen que el material no se endurezca por deformación, esto muestra que a nivel microestructural se dio un proceso competitivo entre los mecanismos de endurecimiento por deformación y los mecanismos de formación de fases blandas, predominando éstos últimos.

En los ensayos de termofluencia realizados se determinó que a partir de 540oC el material se vio afectado a nivel microestructural, evidenciándose además que a nivel de su propiedad física (dureza) también se produjo una afectación por dicho fenómeno.

## Conclusiones

La microestructura obtenida en el ensayo de 535oC es muy similar a la del material en estado de suministro, por lo que se evidencia que el material no ha sufrido afectación alguna por termofluencia, ya que no presenta degradación microestructural (cavidades) y su comportamiento en la curva Deformación-Tiempo presenta únicamente dos de las tres etapas de termofluencia sin llegar a la fractura y aún tiene la capacidad de endurecerse por deformación, así lo muestra el ensayo de dureza realizado en la cercanía de la fractura, permitiendo concluir que éste material puede trabajar normalmente hasta una temperatura de 540°C y a un esfuerzo que no sobrepase los 1223kg/cm<sup>2</sup> (119,95 MPa).

La termofluencia está caracterizada por la presencia de cavidades en la microestructura del material, apareciendo en un inicio cavidades tipo R (pequeñas y de forma circular) a lo largo de los límites de grano y de tipo W en los puntos de unión triple de los granos (de mayor tamaño y geometría irregular), estas cavidades se convierten en sumideros de esfuerzos, que llevan a la fractura del material en un menor tiempo conforme aumenta la temperatura.

Los mecanismos de termofluencia que degradan al material son los producidos por el movimiento de las dislocaciones; la velocidad con que se mueven las dislocaciones por los bordes de los granos se ve favorecida con el incremento de la temperatura y por un grano de menor tamaño, permitiendo que se agrupen y formen cavidades de mayor tamaño rápidamente. También contribuyen a esta degradación, aunque en menor porcentaje los mecanismos de difusión impulsados por la energía que produce la tensión aplicada, éstos se encargan de la deformación de los granos en la dirección de la aplicación de la carga, produciendo granos irregulares que hacen que la fractura del material sea más propensa.

La dureza en la cercanía de la fractura de las distintas probetas ensayadas muestra una relación inversa con la temperatura de ensayo, esto se debe al proceso competitivo entre los mecanismos de endurecimiento por deformación y los mecanismos de formación de fases blandas, predominando éstos últimos al incrementar la temperatura, lo que indica que a nivel físico el material también resulta afectado por termofluencia.

Luego del ensayo a 500°C, la microestructura obtenida es muy similar a la del material en estado de suministro, por lo que se evidencia no haber sufrido afectación alguna por termofluencia, ya que no presenta degradación microestructural (cavidades) y su comportamiento en la curva Deformación-Tiempo presenta únicamente dos de las tres etapas de termofluencia sin llegar a la fractura; y aún tiene la capacidad de endurecerse por deformación, así lo muestra el ensayo de dureza realizado en la cercanía de la fractura, permitiendo concluir que éste material puede trabajar normalmente hasta una temperatura de 500°C y a un esfuerzo que no sobrepase los 1223.kg/cm<sup>2</sup> (119,95 MPa).

La termofluencia está caracterizada por la presencia de cavidades en la microestructura del material, apareciendo en un inicio cavidades tipo R (pequeñas y de forma circular) a lo largo de los límites de grano, y de tipo W en los puntos de unión triple de los granos (de mayor tamaño y geometría irregular), estas cavidades se convierten en sumideros de esfuerzos, que llevan a la fractura del material en un menor tiempo conforme aumenta la temperatura.

Los mecanismos de termofluencia que degradan al material, son los producidos por el movimiento de las dislocaciones; la velocidad con que se mueven las dislocaciones por los bordes de los granos se ve favorecida con el incremento de la temperatura y por un grano de menor tamaño, permitiendo que se agrupen y formen

cavidades de mayor tamaño rápidamente. Así también contribuyen a esta degradación, aunque en menor porcentaje los mecanismos de difusión impulsados por la energía que produce la tensión aplicada, éstos se encargan de la deformación de los granos en la dirección de la aplicación de la carga, produciendo granos irregulares que hacen que la fractura del material sea más propensa.

La dureza en la cercanía de la fractura de las distintas probetas ensayadas muestra una relación inversa con la temperatura de ensayo, esto se debe al proceso competitivo entre los mecanismos de endurecimiento por deformación y los mecanismos de formación de fases blandas, predominando éstos últimos al incrementar la temperatura, lo que indica que a nivel físico el material también resulta afectado por termofluencia.

### **Agradecimiento**

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por brindarme la oportunidad de formarme como Docente e incursionar en la investigación, a los colegas quienes con su experiencia y sugerencias cooperaron para mejorar la calidad de este trabajo de investigación, existe una especial gratitud con mis colegas y amigos que forman parte de este grupo de investigación cuya colaboración en la ejecución de este trabajo fue muy esencial, finalmente agradezco a quienes hagan uso del material expuesto para futuras investigaciones.

### **Referencias**

- Ali Morovat, M., Lee, J. W., Engelhardt, M. D., Taleff, E. M., Helwig, T. A., & Segrest, V. A. (2012). Creep properties of ASTM A992 steel at elevated temperature. *Elsevier Journal*, pp. 786-793.
- Ashby, M. F., & Jones, D. R. (2008). Materiales para ingeniería, vol. 1, Introducción a las propiedades, las aplicaciones y el diseño. In M. F. Ashby, & D. R. Jones, *Materiales para ingeniería, vol. 1, Introducción a las propiedades, las aplicaciones y el diseño*. Barcelona, España: Reverté.
- Ashby, M., & D., J. (2011). Engineering Materials: An introduction to properties applications and design. pp. 311-312. Oxford: Elsevier.
- Brníc, J., Canadija, M., Turkalj, G., & Lanc, D. (2010). Structural steel ASTM A709—behavior at uniaxial tests conducted at lowered and elevated temperatures, short-time creep response, and fracture toughness calculation. *Journal of engineering mechanics*, pp. 1083-1089.
- Caicedo Reyes, J. I. (2014). *Estudio del efecto de termofluencia sobre el hierro fundido gris perlítico como material alternativo y su incidencia en la degradación microestructural en espejos de la cámara de combustión de los hornos industriales para pan*. pp. 44-65: Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- Cowan, M. (2014). Modeling of high temperature creep in ASTM A992 structural steels. *Journal Homepage*, pp. 1-9.
- Díaz, D., Valencia Morales, C. A., & Pérez, E., & M. (2009). *Modelo de máquinas de vectores de soporte para regresión aplicado a la estimación de la tensión de ruptura por termofluencia en aceros ferríticos*. . Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, pp. 53-58.
- González, J. L. (2003). Metalurgia Mecánica. In J. L. González, *Metalurgia Mecánica* pp. 232-233,745. México, México: Limusa.
- Harmathy, T. Z., & Stanzak, W. W. (1970). Elevated Temperature Tensile and Creep Properties of Some Structural and Prestressing Steels. *Journal Homepage*, pp. 1-23.



- Loor, J., & Morales, F. (2015). *Ensayo de termofluencia del acero AISI-SAE 1018 y construcción del modelo predictivo de vida*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Saucedo-Muñoz, M. L., Komazaki, S. I., Hashida, T., & López-Hirata, V. M. (2015). Ensayo de termofluencia de indentación en un acero inoxidable austenítico 316. *Revista de Metalurgia*, 51(1).
- Smith, W. (2006). Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. In W. Smith, *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales* p.36. México, México: McGrawHill.
- V. K. Kodur, E. M. (2015). Effect of temperature on creep in ASTM A572 in ASTM A572 high-strength low-alloy steels. *Materials and Structures*, pp. 1-10.
- V. K. R. Kodur, M. M. (2010). Effect of high temperature creep on the fire response of restrained steel beams. *Materials and structures*, 43(10), pp. 1327-1341.
- Williams-leir, G. (1983). *Creep of structural steel in fire: analytical expressions*. *Fire and Materials*. Wiley, pp. 73-78.
- Zeng, J., Tan, K., & Huang, F. (2003). Primary creep buckling of steel columns in fire. *Journal of Constructional Steel Research*, pp. 951-970.

# Incidencia del material particulado, en una planta industrial de producción de material abrasivo

**Diego Fernando Mayorga Pérez**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
dmayorga@espoch.edu.ec

**Edwin Fernando Viteri Núñez**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
eviteri@espoch.edu.ec

**Otto Fernando Balseca Sampedro**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
obalseca@espoch.edu.ec

## Resumen

En el presente trabajo de investigación se realiza un estudio de los determinantes de riesgo y exposición al material particulado en las áreas de preparación del material abrasivo. Se realiza una cualificación del riesgo químico (polvo inorgánico) usando la matriz de riegos de triple, además se evaluó la concentración de polvo en cada puesto utilizando las normas NIOSH 0500 (polvo total) y NIOSH 0600 (polvo respirable) por medio del criterio estadístico NIOSH cuyos resultados están en función del método gravimétrico. También se realizó una encuesta higiénica para determinar la relación de las variables de estudio con el polvo. Una vez evaluados los puntos de muestreo se obtuvo 5 puntos con sobreexposición por lo que se realizó un acta de compromiso con acciones correctivas y se volvieron a monitorear dichos puntos expuestos resultando un punto con sobreexposición (Trituradora primaria) sin embargo esta funciona de una a dos veces por mes por 4 horas por lo que no se tendría exposición ya que además los trabajadores de producción rotan en los puestos de trabajo. Se propuso acciones correctivas adicionales para reducir más la exposición al polvo aprovechando el extractor de polvos principal, generándose un ambiente óptimo para los trabajadores.

**Palabras clave:** Polvo total, Polvo inhalable, Polvo respirable, Gravimetría.

## Summary

In this research a study of the determinants of risk and exposure to particulate matter is done in preparation in the areas of abrasive material. Qualification of chemical risks (inorganic powder) using the matrix triple irrigation is performed, plus dust concentration in each position was evaluated using the rules NIOSH 0500 (total dust) and NIOSH 0600 (respirable dust) by statistical criteria NIOSH whose results are based on the gravimetric method. A sanitary survey to determine the relationship between the study variables with the powder was also performed. After examining the sampling points 5 points was obtained with overexposure so a letter of commitment was made with corrective actions and re-monitor those exposed points overexposure resulting in a point (primary crusher) but this works in one to two times per month for 4 hours so no longer exposure would also production workers rotate jobs. Additional corrective actions to further reduce exposure to dust extractor main advantage powders was proposed, generating an optimal environment for workers

**Keywords:** Total dust, Inhalable dust, Respirable dust, Gravimetry.

## Introducción

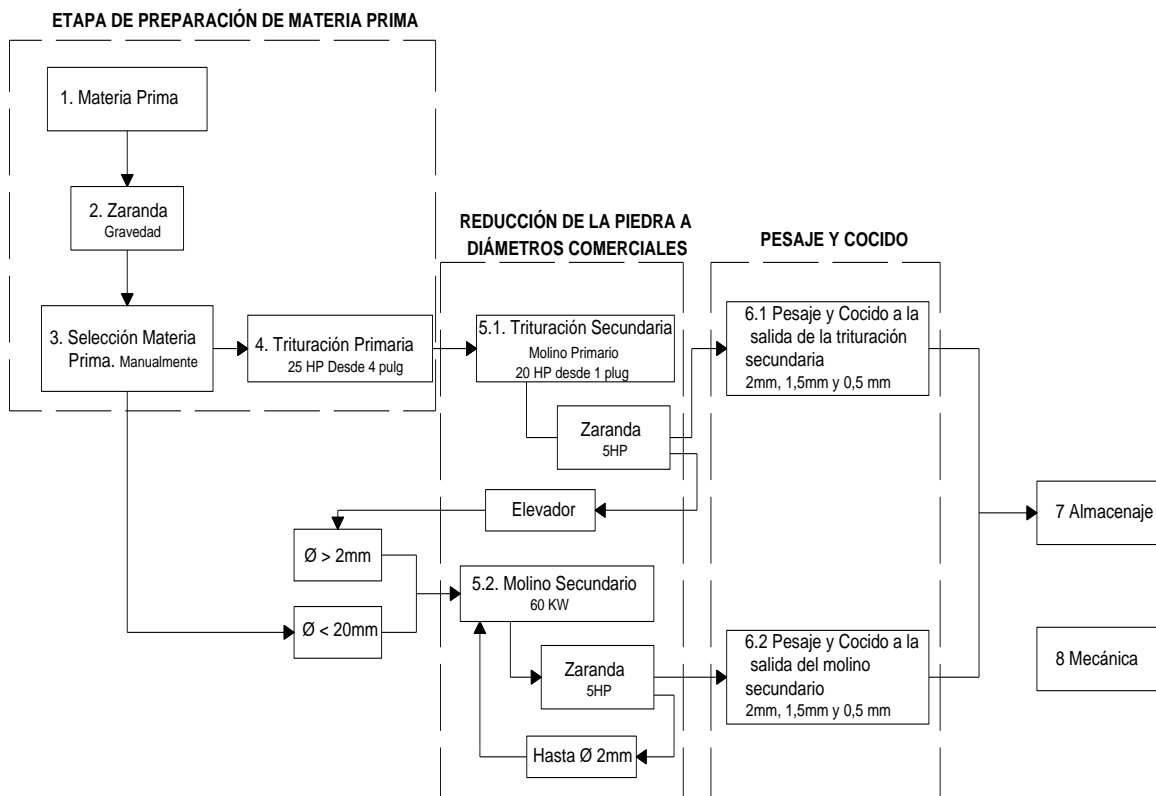
### Introducción al problema

Las empresas que se dedica a la fabricación del material abrasivo que es utilizado en la industria para el proceso de sanblasting por medio del cual se realiza la limpieza de tuberías y estructuras de acero permitiendo así extender la vida útil de las mismas.

Para obtener este material abrasivo se requiere de una serie de procesos de trituración de una roca llamada basalto cuya estructura es dura de acuerdo a Bossi, Ortiz, Caggiano; Olivera, (2011). Ello permite que se rompa fácilmente, además debido a su forma angular permite que tenga mejores incrustaciones en las escorias a ser eliminadas por lo que durante la trituración se genera polvo en las diferentes áreas de preparación.

Simancas, Cubero, Delgado, Sastre, García, Hita, Fernández y García (2011) afirman que los trabajadores que se desenvuelven en ambientes donde existe polvo son más propensos a contraer enfermedades respiratorias que los que no laboran bajo estas condiciones. Por lo tanto, en el ámbito laboral objeto de estudio, la vía inhalatoria es la más importante y por ende es la principal vía para la exposición del trabajador a cualquier sustancia presente en la atmósfera.

De aquí la importancia del estudio del material participado PM 10 (polvo inhalable o total) y PM 2.5 (polvo respirable) en el ambiente de trabajo en las áreas de preparación del material abrasivo en la empresa objeto de estudio.



**Gráfico 1.**

Ciclo tecnológico del material abrasivo

Fuente: Autores

Es sobremanera importante determinar como inciden las partículas que puedan estar en el ambiente en la salud de los operarios, analizar los procesos, así como los elementos de seguridad a aplicar en todos los operarios de la planta y posteriormente definir estrategias para minimizer los impactos.

### **Importancia del problema**

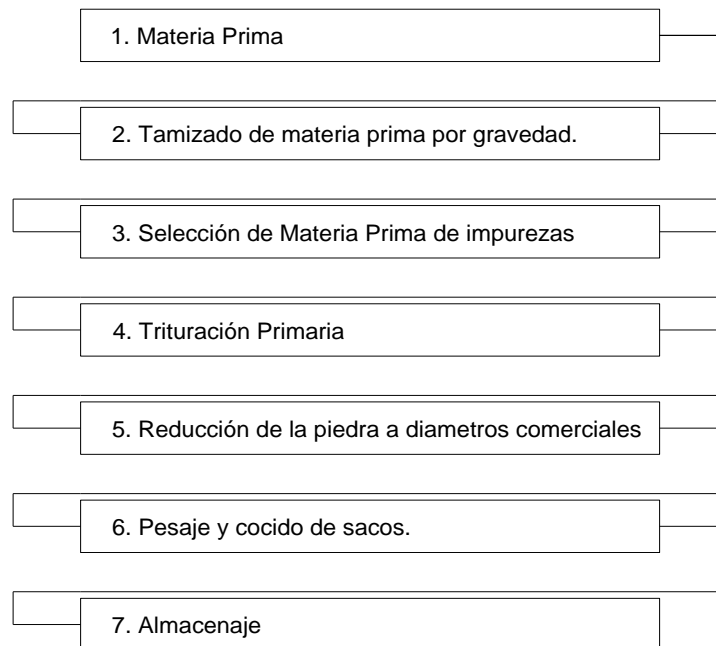
La importancia del estudio radica en la necesidad de conocer el tipo de material que se encuentra flotando en la atmósfera de la planta industrial, analizar la cantidad generada por proceso, para determinar el nivel de contaminación que puede tener un operario.

Posteriormente tomar medidas de seguridad industrial, con políticas de utilización de equipos de seguridad que garanticen el bienestar de los operarios.

Las medidas deberán también aplicarse a los procesos mediante la utilización incluso de infraestructura, pero que este diseñada técnicamente para que cumpla con sus objetivos.

### **Metodología**

Primeramente, se desarrolló el proceso productivo que es una serie de sucesos físicos y actividades en que participa el ser humano para transformar la materia prima (Alessio, F., 2002).



**Gráfico 2.**

Ciclo productivo del material abrasivo

**Fuente:** Autores

El ciclo tecnológico es cambio físico de la materia prima por medio de manufactura, para lo que se requiere de tecnología (Bossi, J., Ortiz, A., Caggiano, R., Olveira, C., 2011).

Se elaboró una matriz de riesgo químico (polvo inorgánico) en las diferentes actividades del proceso de producción de material abrasivo. Cabe mencionar que se obtuvieron riesgos intolerables en las actividades que se muestran a continuación:

**Tabla 1.**  
Riesgos Intolerables

Proceso analizado	Actividad del proceso	Estimación del riesgo
Zaranda de Gravedad	Palear el material menor a 1 pulg (detrás de la zaranda)	
	Palear el material mayor a 1 pulg (delante de la zaranda)	
Trituradora Primaria	Llevar en carretillas el material mayor a 1 pulg al molinos secundario	Riesgo Intolerable
	Palear el material mayor a 1 pulg	
Molino Secundario	Seleccionar que no se pasen impurezas	

**Fuente:** Autores

Se caracterizaron las variables de estudio que ayudaron a realizar una escueta higiénica.

#### **Caracterización del material particulado**

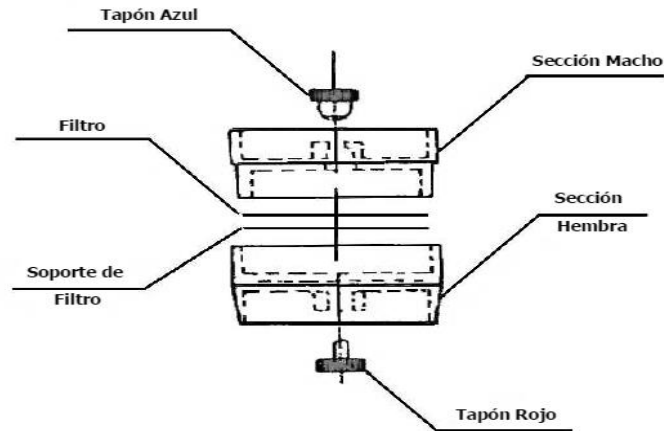
Debido a la imposibilidad de adquirir equipos para realizar los muestreos se recurrió a una empresa acreditada por el SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano) denominada CESTTA (Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental).

Se trabajó en base a la norma NIOSH 0500 (2016) para particulado total y NIOSH 0600 (2016) para particulado respirable, siendo el procedimiento para las normas el siguiente:

#### **Preparación de muestras antes del muestreo**

1. Equilibrar los filtros en un área de pesaje de ambiente controlado o cámara durante al menos 2 h.
2. Pesar los filtros en una zona de ambiente controlado o cámara. Anotar el peso de tara filtro en (mg).
  - a. Enserar la microbalanza antes de cada pesada.
  - b. Maneje el filtro con pinzas.
3. Montar los filtros en los cassettes y cerrar firmemente para que no se produzca fugas alrededor del filtro. Coloque un tapón en cada apertura del cartucho del filtro.

“A los casetes se les deben colocar los dos tapones uno a la entrada del aire (azul) y otro a la salida del aire (rojo).” (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, Universidad de Quindío, 2008).



**Gráfico 3.**

Ensamble para portafiltros de dos cuerpos

**Fuente:** Autores

4. Cuando deba utilizarse ciclón, éste previamente deberá ser desmontado e inspeccionado meticulosamente en su interior.

Suele ser habitual encontrar restos de polvo de mediciones anteriores, por lo que es necesario limpiarlos previamente.

5. Monte el ciclón dependiendo si es para polvo total o respirable. Compruebe la alineación del soporte del filtro y el ciclón en la cabeza de muestreo para evitar fugas.

### **Muestreo**

6. Calibrar cada bomba de muestreo personal a la velocidad de flujo apropiada NIOSH 0500 1L/m por 2 horas y NIOSH 0600 2,6 L/m por dos horas y media, No se podrá iniciar la medición si no se tiene la seguridad de que la batería está totalmente cargada y que tendrá capacidad para medir durante todo el tiempo previsto.

### **Preparación de la muestra**

7. Quite los tapones superior e inferior del cassette de filtro. Equilibrar durante al menos 2 h en un área o cámara de ambiente controlado.

### **Calibración y control de calidad**

8. Encere la microbalanza (precisión de 0,001 mg) antes de todas las pesadas. Utilice la misma microbalanza para el pesaje de filtros antes y después de la recogida de muestras.

9. Al equilibrar el filtro antes y después de la medición en una cámara de ambiente controlado se asegura que tengas las mismas condiciones.

### **Medición**

10. Pese cada filtro, incluyendo blancos de campo. Registre este peso después de la toma de muestras (mg).

La cantidad de material particulado retenido en el elemento de retención, expresado en miligramos (mg), se obtiene como diferencia entre la pesada del elemento de retención antes y después del muestreo.

A partir de dicha cantidad, y teniendo en cuenta el volumen de aire muestreado, se obtiene la concentración de material particulado en el aire, en miligramos por metro cúbico.

### Descripción del equipo de muestreo

En el trabajo de campo se utilizó una bomba de muestreo Casella Cel Tuf I.S.



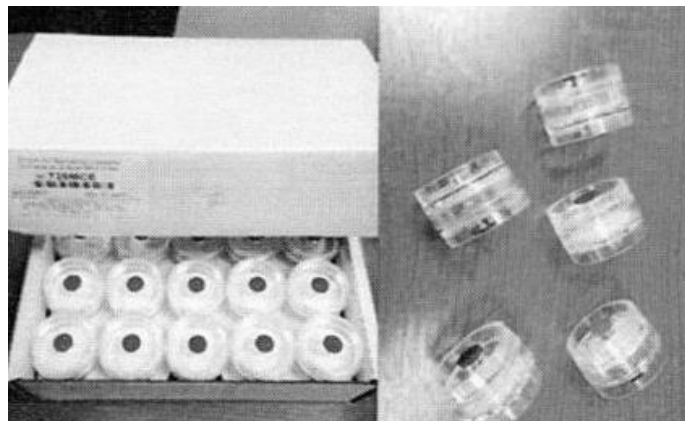
**Gráfico 4.**

Bomba de muestreo Casella Cel Tuf I.S.

**Fuente:** Casella Cel Tuf I.S.

### Medios de retención

Se utilizó un filtro SKC-225-8-01 que es una membrana de cloruro de polivinilo (PVC), de 37 mm de diámetro de 2 a 5 micrómetros de tamaños de poros en una cassette de dos cuerpos, con sus respectivas tapas de seguridad para cada punto de muestreo.

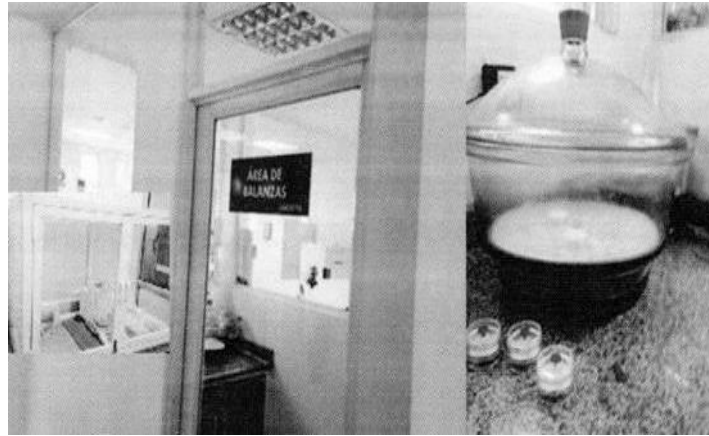


**Gráfico 5.**

Filtro de muestreo y cassette de dos cuerpos

**Fuente:** Autores

Los ciclones utilizados son dispositivos de aluminio que posee una entrada de aire en sentido transversal. En el laboratorio la sensibilidad de la balanza analítica debe ser de 0,01mg (0,00001g), la cámara de pesado debe estar diseñada para mantener un ambiente controlado y se debe disponer de un desecador de vidrio para condicionar los filtros.



**Gráfico 6.**

Área de pesaje y desecador de vidrio

**Fuente:** Autores

De forma previa a la toma de muestras se realizó in situ una verificación de las baterías de la bomba una preparación de los medios de retención, es decir: desecar los filtros incluido los blancos, pesada de filtros, montaje de los filtros en el portafiltro, sellar y rotular, ubicar el ciclón seleccionador de tamaño de polvo y luego el filtro de recolección para finalmente realizar la secada y el pesaje, donde las condiciones del trabajo fueron óptimas.

#### **Selección de los trabajadores a muestrear**

En la empresa laboran 15 trabajadores en el área de producción (N = 15).

Para encontrar el número de trabajadores (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, Universidad de Quindío 2008), que se deberían muestrear se puede proceder de la siguiente manera:

1. Asumir que el límite del 10% de trabajadores están altamente expuestos por lo tanto en el presente trabajo suponemos que existen dos (2) trabajadores con la más alta exposición.
2. Se elige un límite de confianza del 90% lo que significa que existe un 90% de posibilidad de encontrar en el subgrupo a seleccionar al menos a uno de los trabajadores del grupo del 10% con más exposición.
3. Como se tiene que el límite de alto riesgo es del 10% y el límite de confianza es del 90%, del grupo de trabajadores (N=15), analizando la tabla II, se determina que el número de trabajadores a muestrear es 12.

**Tabla 2.**

Riesgos intolerables

$\lambda=0,1$  y confianza 0,90  $n=N$  si  $N \leq 7$

Tamaño del grupo N	8	9	10	11-12	13-14	15-17	18-20	21-24	25-29	30-37	38-40	50
Nº de trabajadores necesarios a medir (n)	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

4. Se realiza la selección aleatoria de los trabajadores, por lo que los trabajadores a ser evaluados son: 1, 7, 11, 10, 8, 12, 6, 9, 5, 2, 3, 4.



**Tabla 3.**

Números aleatorios para ser muestreados

<b>Numero aleatorio</b>	<b>Puesto de trabajo</b>
1	Supervisor
7	Pesaje y cocido a la salida de la trituradora secundaria
11	Molino secundario
10	Mecánica
8	Molino secundario
12	Delante de la zaranda de gravedad
6	Trituración secundaria
9	Pesaje y cocido a la salida del molino secundario
5	Trituración primaria
2	Montacargas
3	Detrás de la zaranda de gravedad
4	Selección de materia prima

Se utiliza el criterio estadístico para la interpretación de las concentraciones en las diferentes áreas de preparación del material abrasivo (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, Universidad de Quindío, 2008). (NIOSH, 1980).

Se señalan las tres categorías para calificar la exposición de un trabajador a determinado contaminante con la utilización de los límites de confianza.

**a) Existe una sobreexposición:**

Cuando la exposición media supera el valor límite permisible de la sustancia y el Límite Inferior de Confianza (LIC) también lo supera, existe una posibilidad de un 95% de que el trabajador se encuentre a una exposición de peligro.

$$LIC \geq 1$$

**b) No habrá sobreexposición:**

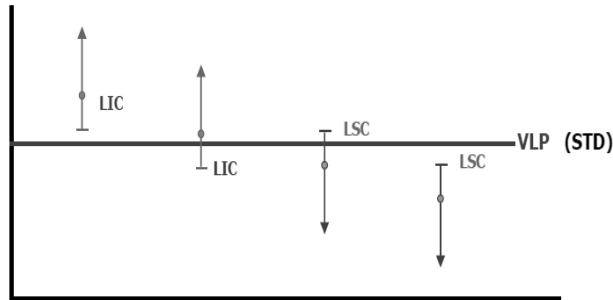
Cuando la exposición media no supera el valor límite permisible de la sustancia y el Límite Superior de Confianza (LSC) tampoco lo supera, existe una posibilidad del 95% de que el trabajador no tenga una exposición peligrosa.

$$LIC \leq 1$$

**c) Posible sobreexposición: en los siguientes casos:**

- I. Cuando la exposición media no supera el VLP, pero el Límite Superior de Confianza (LSC) si lo supera, no se podrá estar seguro en un 95% de exposición peligrosa.
- II. Si la exposición media supera el VLP, pero el Límite Inferior de Confianza no lo supera; no se puede estar seguro en un 95% de que exista una exposición peligrosa.

En estos dos casos existe una incertidumbre y se recomienda tomar muestras adicionales dependiendo de la toxicidad de la sustancia.



**Gráfico 7.**

Clasificación de los límites de confianza.

$LIC \leq 1$  Y  $LSC \geq 1$

Fuente: Autores

### Muestreo de los 12 puntos de muestreo

Comparación del material particulado PM 10.

#### Punto de muestreo 4: Detrás de la zaranda de gravedad

Una concentración de PM 10 de 15,83 mg/m<sup>3</sup> supera en un 58,3 % al TLV de la norma teniendo una sobreexposición.

#### Punto de muestreo 6: Trituración primaria

Una concentración de PM 10 de 31,67 mg/m<sup>3</sup> supera en un 216,7% al TLV de la norma teniendo una sobreexposición. Este punto es crítico pero cabe recalcar que la trituradora primaria solamente funciona cuando hay material de más de una pulgada por lo que esta funciona unas dos veces al mes por lo general 4 horas.

#### Punto de muestreo 10. Molino secundario

Una concentración de PM 10 de 10 mg/m<sup>3</sup> tiene una posible exposición ya que está al límite del TLV de la norma.

#### Punto de muestreo 12. Molino secundario

Una concentración de PM 10 de 141,17 mg/m<sup>3</sup> supera en un 141,7% al TLV de la norma teniendo una sobreexposición. La exposición está en función de cómo se envíe el material es decir no se acumule a la salida de la zaranda por lo que se presume que en el punto de muestro 10 se mandó poco a poco el material y que en el punto de muestro 12 se mandó más rápido generándose mucho polvo, siendo este puesto de trabajo crítico ya que en las dos mediciones se tiene exposición.

#### Punto de muestreo 1: trituración secundaria

Una concentración de PM 2.5 de 4.1 mg/m<sup>3</sup> supera en un 36,6% el TLV de la norma teniendo una sobreexposición.

No supera el 50% del límite de exposición, es decir no se deben establecer programas de intervención o mitigación del factor según el reglamento técnico polvo de sílice (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, Universidad de Quindío, 2008).

El día del muestreo estaba funcionando simultáneamente la trituradora primaria generándose bastante polvo por lo que se pretende que este punto de muestreo resultó con sobreexposición por la presencia de la misma. La exposición de los siguientes puntos de muestreo son los mismos que para el caso de PM 10 fracción inhalable o total:

### Propuesta preliminar o reducir la exposición al material particulado

#### Acta de compromiso

En función de las exposiciones obtenidas se elaboró un acta de compromiso Anexo XXIX para reducir o eliminar la exposición al material particulado generado en los siguientes puestos de trabajo, como se detalla a continuación:

**Tabla 4.**

Punto muestreado	Puntos de muestreo con sobreexposición			
	Polvo inhalable NIOSH 0600 (TLV = 10 mg/m <sup>3</sup> )	Observaciones	Polvo respirable NIOSH 0500 (TLV = 3 mg/m <sup>3</sup> )	Observaciones
Punto 1: Trituración secundaria	6,67 mg/m <sup>3</sup>	No hay exposición	4,10 mg/m <sup>3</sup>	- 36,6% más de exposición. - No supera el 50% del límite permisible. -Influencia de la trituradora primaria. - Se va a volver a evaluar sin la influencia de la trituradora primaria.
Punto 4: Detrás de la zaranda	15,83 mg/m <sup>3</sup>	58,3% más de exposición	10,26 mg/m <sup>3</sup>	242% más de exposición.
Punto 6: Trituración primaria	31,67 mg/m <sup>3</sup>	216,7% más de exposición	17,69 mg/m <sup>3</sup>	489,6% más de exposición.
Punto 10: Molino secundario	10 mg/m <sup>3</sup>	Posible sobreexposición. No supera el 50% del límite permisible.	5,9mg/m <sup>3</sup>	96,6% más de exposición.
Punto 12: Molino secundario	24,17mg/m <sup>3</sup>	141,7% más de exposición	16,92mg/m <sup>3</sup>	464% más de exposición.

#### Medidas técnicas de prevención a implementar conforme al acta de compromiso

En el acta se establece que se va actuar en el punto de muestreo 4 y 6 desde el punto de vista:

a) Organizativo: Cambiar la posición del trabajador en estos puestos de trabajo. En el momento que está funcionando la trituradora primaria y la zaranda de gravedad, deben retirarse hasta que el montacargas deposite el material, dejando que el polvo baje hasta el nivel del piso para volver al puesto de trabajo, esto tomará de 3 a 5 minutos tiempo en que el montacargas regresará a proveerse de más material.

b) Formación e información sobre técnica preventivas: capacitando al personal de producción sobre la forma adecuada de prevenir la inhalación de polvo.

### **Medidas de protección colectivas a implementar conforme al acta de compromiso**

Extracción localizada: Los puntos de muestreo 10 y 12 que corresponde al molino secundario son los más críticos del estudio y por ello se va implementar una extracción localizada funcionando en el momento que se encienda el molino secundario y aislando al trabajador del polvo.



**Gráfico 8.**

Campana extractora en el puesto del trabajador en el molino secundario

**Fuente:** Autores

Una vez implementadas estas acciones correctivas se volvieron a muestrear los puntos 1, 4, 6, 10 y 12 para realizar las comparaciones y verificar si el nivel de exposición disminuyó.

También se ha establecido que todos los lunes de 8 a 12 se haga una limpieza del polvo depositado sobre suelos, estructuras y máquinas, para evitar que éste se acumule y pueda influir en la exposición del trabajador.

### **Medidas de protección individual**

Con respecto a esta medida de protección, a pesar de que no consta en el acta de compromiso se recomendó el uso de respiradores para partículas 3M™ 8511 N95 para todos los trabajadores de la empresa.

De acuerdo al criterio estadístico se tiene un solo punto con posible exposición:

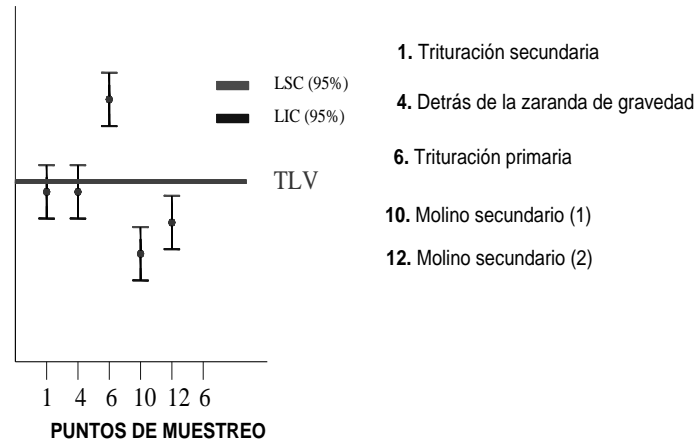
#### **Punto 6: trituración primaria**

Una concentración de PM 10 de 10,83 mg/m<sup>3</sup> supera en un 8,3% el TLV de la norma donde anteriormente se tuvo 216,7% de sobrexposición.

Como la exposición no supera el 50% del límite de exposición no se deben establecer programas de intervención o mitigación del factor según el reglamento técnico polvo de sílice (2008)

El cambio en el proceso organizativo del puesto de trabajo influyó significativamente en la exposición del trabajador.

## Comparación del material particulado PM 2.5



**Gráfico 9.**

Exposición de los puntos muestreados a PM 2.5

**Fuente:** Autores

De acuerdo al criterio estadístico se tienen los puestos que tienen sobreexposición y posible exposición:

### **Punto 1: trituración secundaria**

Una concentración de PM 2.5 de 2,82 mg/m<sup>3</sup> no supera el TLV de la norma.

Tiene una posible exposición, porque el límite superior de confiabilidad supera en un 8,8% del TLV, sin embargo, la concentración obtenida no lo supera, por lo que se estaría trabajando a un 94% del TLV de la norma.

### **Punto 4: detrás de la zaranda de gravedad**

Una concentración de PM 2.5 de 2,82 mg/m<sup>3</sup> no supera el TLV de la norma.

Al igual que el punto anterior se estaría trabajando a un 94% del TLV, mientras que en la anterior medición se obtuvo una sobreexposición de 242% de exposición.

El cambio en el proceso organizativo del puesto de trabajo influyó significativamente en la exposición del trabajador.

### **Punto 6: trituración primaria**

Una concentración de PM 2.5 de 4,36 mg/m<sup>3</sup> supera en un 45,3 el TLV de la norma, donde anteriormente se tuvo 489,6% de sobreexposición.

El cambio en el proceso organizativo del puesto de trabajo influyó significativamente en la exposición del trabajador.

La exposición en los puntos 1, 4 y 6 no superan el 50% del límite de exposición no se deben establecer programas de intervención o mitigación del factor según el reglamento técnico polvo de sílice (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, Universidad de Quindío, 2008).

**Comparación de las concentraciones de los puntos expuestos antes y después de las acciones Correctivas.**

**Tabla 5.**

Comparación de exposiciones antes y después de las acciones correctivas

Punto muestreado	Puntos expuestos		Puntos expuestos con acciones correctivas		Observaciones
	Polvo inhalable NIOSH 0600 (TLV = 10 mg/m <sup>3</sup> )	Polvo respirable NIOSH 0500 (TLV = 3 mg/m <sup>3</sup> )	Polvo inhalable NIOSH 0600 (TLV = 10 mg/m <sup>3</sup> )	Polvo respirable NIOSH 0500 (TLV = 3 mg/m <sup>3</sup> )	
Punto 1: Trituración secundaria	6,67 mg/m <sup>3</sup>	4,10 mg/m <sup>3</sup>	5 mg/m <sup>3</sup>	2,82 mg/m <sup>3</sup>	Cumple las normas No hay exposición
Punto 4: Detrás de la zaranda	15,83 mg/m <sup>3</sup>	10,26 mg/m <sup>3</sup>	5,83 mg/m <sup>3</sup>	2,82 mg/m <sup>3</sup>	Cumple las normas No hay exposición
Punto 6: Trituración primaria	31,67 mg/m <sup>3</sup>	17,69 mg/m <sup>3</sup>	10,83 mg/m <sup>3</sup>	4,36 mg/m <sup>3</sup>	Existe exposición
Punto 10: Molino secundario	10 mg/m <sup>3</sup>	5,9mg/m <sup>3</sup>	6,67 mg/m <sup>3</sup>	1,79 mg/m <sup>3</sup>	Cumple las normas No hay exposición
Punto 12: Molino secundario	24,17mg/m <sup>3</sup>	16,92mg/m <sup>3</sup>	5,83 mg/m <sup>3</sup>	2,31 mg/m <sup>3</sup>	Cumple las normas No hay exposición

Como se observa las acciones correctivas establecidas en el acta de compromiso ayudaron significativamente a minimizar la exposición. Sin embargo, la trituradora primaria sigue siendo un puesto donde persiste la exposición al material particulado tanto para polvo total como respirable. Se debe destacar que funciona de una a dos veces por mes durante cuatro horas por lo que el trabajador no estaría expuesto siempre a este puesto de trabajo y además si se considera que entre ellos se rotan en los puestos de trabajo no habría exposición.

Adicionalmente se plantearán medidas de prevención adicionales que ayuden a disminuir la exposición al polvo, generando un ambiente de trabajo más limpio a más de las acciones correctivas establecidas en el acta de compromiso.

**Medidas de prevención adicionales**

Cabe indicar que se han hecho algunas acciones como:

- Limpieza: El polvo depositado sobre suelos, estructuras y maquinarias es limpiado todos los lunes 8 a 12 del día para evitar que este se acumule y pueda influir en la exposición del trabajador.
- Control médico: Como toda persona que trabaja en procesos donde existe polvo debe tener un control periódico por lo que en la empresa se realizaron espirometrías a todos los trabajadores las cuales fueron comparados con los puntos de estudio y se tiene:

**Tabla 6.**

Espirometrías realizadas en los puestos de trabajo

Punto	Puesto de trabajo	Espiromtria	Resultado
1	Trituradora Secundaria	Sí	Espirometría Normal
2	Pesaje y cocido a la salida de la trituradora secundaria	Sí	Espirometría Normal
3	Pesaje y cocido a la salida del molino secundario	No	-----
4	Detrás de la zaranda de gravedad	Sí	Espirometría Normal
5	Mecánica	Sí	Espirometría Normal
6	Trituradora primaria	Si	Espirometría Normal
7	Selección de materia prima	Sí	Espirometría Normal
8	Delante de la zaranda de gravedad	No	-----
9	Supervisor	Sí	Espirometría Normal
10	Molino secundario	Sí	Espirometría Normal
11	Montacargas	Sí	Espirometría Normal
12	Molino secundario	Sí	Espirometría Normal
13	Mecánica	Sí	Espirometría Normal
14	Trituradora secundaria	Sí	Espirometría Normal
15	Pesaje y cocido	Sí	Espirometría Normal

Se propusieron acciones técnicas adicionales que involucran el proceso productivo de transformación del material abrasivo, aprovechando el extractor de polvos que dispone la empresa.

#### Protección colectiva adicional

- Zaranda de gravedad: Se va a diseñar un encerramiento de la zaranda para cuando el material pase a través de la misma el polvo sea absorbido por el extractor de polvos principal, además tendrá una compuerta para poder sacar las piedras atoradas que quedan por el proceso de cernido.
- Trituradora primaria: Como este puesto es el más crítico en ambas mediciones se va a diseñar un sistema de extracción del polvo conectado en las mandíbulas para que cuando caiga la piedra se absorba la mayor cantidad de polvo.

El objetivo de la propuesta de implementar extractores de polvo en la trituradora primaria y en la zaranda de gravedad es para ayudar a reducir la exposición al polvo, al igual que se realizó en el molino secundario dando resultados excelentes resultados en las nuevos monitoreos.

#### Discusión

Estos ensayos de medición se los debe realizar en las plantas industriales susceptibles de este tipo de contaminación, es importante identificar los sólidos para determinar los daños que pueden ocasionar al personal que labora en la planta, la medida mucho dependerá del presupuesto de las empresas y sobretodo de la predisposición de convertirse en empresas no contaminantes.

#### Conclusiones

Se monitorearon 12 puntos dando 5 con sobre exposición los mismos que coinciden con la identificación cualitativa de los riesgos siendo dos de estos el molino secundario, cuya exposición disminuyo significativamente por la implementación de una campana extractora. Con la implementación del acta de compromiso se redujo la exposición en casi todos los puntos, sin embargo en la trituradora primaria se

mantiene la exposición pero si se considera que la se la enciende de una a dos veces por al mes hasta que haya suficiente piedra por cuatros horas y que los trabajadores rotan en los puestos no habría exposición, además se realizaron espirometrías en los diferentes puestos trabajo para saber la situación pulmonar de los trabajadores siendo esta normal para todos los puestos de trabajo.

La encuesta higiénica ayudó a observar como las variables que se tabulan se encuentran en función de la exposición al polvo, por lo que en su análisis se tiene que los trabajadores también están expuestos a vibraciones por el mismo funcionamiento de las máquinas, esto contribuye a que el polvo se levante.

### **Agradecimiento**

Un especial agradecimiento a la Empresa Minabradec, en la ciudad de Riobamba, por su apertura y su disponibilidad para realizar los ensayos.

### **Referencias**

- Alessio, F. (2002). *Administración y dirección de la producción: Enfoque estratégico y de calidad*. Bogotá D.C, Colombia: Pearson Educación de Colombia
- Bossi, J., Ortiz, A., Caggiano, R., Olveira, C. (2011). *Manual Didáctico de Geología para estudiantes de Agronomía*. Uruguay: Ucur.
- Harari, R. (2011). El estudio de la salud en el trabajo en el Ecuador. *Revista Eídos*, (4), pp. 31 – 37.
- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, Universidad de Quindío (2008). *Reglamento técnico polvo de sílice*. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social con Universidad de Quindío: Colombia. Recuperado de: [http://www.uniquindio.edu.co/uniquindio/facultades/medicina/salud\\_ocupnal/uniquindio/Reglamento-higiene/Rt\\_Polvo\\_Silice.pdf](http://www.uniquindio.edu.co/uniquindio/facultades/medicina/salud_ocupnal/uniquindio/Reglamento-higiene/Rt_Polvo_Silice.pdf).
- NIOSH 0500 (2016) Método de determinación de particulado total. *National Institute of Occupational Safety and Health*, 1, (13).
- NIOSH 0600 (2016): Métodos de determinación de particulado respirable. *National Institute of Occupational Safety and Health*, 1, (13).
- NIOSH (1980) *Industrial Hygiene Sampling. Decision Making Monitoring and Recordkeeping Sampling Strategies*, p.553. Ohio.
- Simancas, A. I.; Cubero, S.; Delgado, J.F.; Sastre, V.; García, A.; Hita, F.; Fernández, F.J.; García, M. (2011). *Campaña de control del polvo y la sílice libre cristalina en el sector de ladrillos y tejas de arcilla cocida. Guía de buenas prácticas para el control del polvo y la sílice cristalina en el sector de los ladrillos y tejas de arcilla cocida* Recuperado de: <http://mcaugt.org/documentos/0/doc9410.pdf>



# Determinación de retardo simple de lenguaje mediante el algoritmo de codificación de predicción lineal (lpc) implementado en un sistema embebido

**Giovanny Cuzco Silva**

Universidad Nacional de Chimborazo

gcuzco@unach.edu.ec

**Nayla Maldonado Bonifáz**

Universidad Nacional de Chimborazo

nbonifaz.fie@unach.edu.ec

**Geovanny Uchuari Montoya**

Universidad Nacional de Chimborazo

guchuari.fie@unach.edu.ec

## Resumen

El presente documento describe el proceso empleado para desarrollar un sistema de detección de retardo simple de lenguaje en niños de 4 años, considerando la pronunciación ya sea correcta o incorrecta, mediante el software Python 2.7 de la tarjeta Raspberry Pi3 se elaboran dos interfaces, una para generar una base de datos que consta de 10 palabras grabadas por 11 niños y otro para realizar el procesamiento de las señales aplicando el algoritmo Linear Prediction Filter Coefficients (LPC) para obtener un promedio que representará los patrones que se utilizan en la comparación mediante el cálculo de distancia euclidiana para determinar si los niños presentan retardo simple de lenguaje. Los resultados que se obtuvieron son interpretados al determinar el número de palabras correctas e incorrectas, con lo que se calculó el promedio de los porcentajes obtenidos durante los ocho intentos, con lo que se logró determinar la eficiencia del sistema alcanza el 88,75%.

**Palabras claves:** Python, Raspberry Pi3, Linear Prediction Filter Coefficients, distancia Euclidiana.

## Abstract

This document describes the procedure used to develop a detection system of simple language retardation in 4-year-old children, considering correct and incorrect pronunciation, , using the Python 2.7 software of the Raspberry Pi3 card, two interfaces are developed, one for generate a database consisting of 10 words recorded by 11 children and another to perform signal processing by applying the Linear Prediction Filter Coefficients (LPC) algorithm to obtain an average that will represent the patterns that are used in the comparison using the calculation of Euclidean distance to determine if children have simple language delay. The obtained results are interpreted when determining the number of correct and incorrect words, which calculated the average of the percentages, obtained during the eight attempts, which was able to determine the efficiency of the system reaches 88.75%.

**Keywords:** Python, Raspberry Pi3, Linear Prediction Filter Coefficients, Euclidean distance.

## Introducción al problema

El habla es un proceso de comunicación de gran importancia entre los seres humanos que va desarrollándose a partir del primer año de nacimiento, por lo que es importante brindar una atención temprana para determinar si existe la presencia o no de un trastorno de lenguaje en los niños. Se requiere del apoyo, atención

e interés de los padres para una adecuada estimulación del lenguaje. (Tonato, Y 2015)

El retardo simple de lenguaje se trata de un desfase cronológico en la fonética, vocabulario y sintaxis. Se caracteriza porque los niños presentan ausencia de lenguaje, aparición tardía o permanencia de patrones lingüísticos inferiores al de su edad cronológica que puede provocar problemas en su desarrollo y en su aprendizaje. Se trata de hablantes tardíos que pueden ocasionar alteraciones fonológicas al momento de expresarse o de repetir palabras, sin embargo, en el retardo simple de lenguaje no se ve afectada la comprensión en los niños al escuchar diversas palabras. (Artigas, Rigau y García-Nonell 2008)

Existen algunas causas que provocan el retardo simple del lenguaje que se origina por desconocimiento e indiferencia por parte del entorno social y familiar, se puede producir por factores hereditarios, socioculturales o conflictos familiares. El retardo simple de lenguaje se puede manifestar en diferentes niveles fonológicamente hablando que son: leve cuando el niño produce pocas variaciones de fonemas, pero trata de repetir correctamente el nombre de los objetos, moderado si el niño presenta problemas al repetir las palabras y severo cuando existe un reducido y notorio uso del lenguaje y evita decir palabras que sean difíciles para el niño.

Los sistemas de reconocimiento de voz han sido desarrollados desde hace mucho tiempo atrás. En 1920 se construye un juguete llamado Radio Rex, que al reconocer una sola palabra (su nombre), se movía. (Padilla y Macas, 2012).

En 1952 se desarrolla un dispositivo para reconocimiento de voz que era capaz de identificar diez dígitos considerando la pronunciación de un único usuario. (Arellano, Elena, y Benito, 2003).

En los años de 1959/1960 generan la comparación de palabras iguales pero pronunciadas a diferente velocidad. (Arellano, Elena, y Benito, 2003).

A partir de los años 60 y 70 se introduce diferentes procedimientos para desarrollar sistemas de reconocimiento del habla continua, entre los que se tiene: Algoritmos que permiten extraer las características de la señal acústica obtenida, se utiliza el modelado de rasgos espectrales para el reconocimiento de palabras, otros sistemas contaban con el reconocimiento mediante la utilización de procesamiento cepstral y se efectuaban sistemas por medio de técnicas de warping expansión o compresión temporal. (Padilla y Macas, 2012).

Por lo tanto, los sistemas de reconocimiento de voz tienen una gran cantidad de aplicaciones que facilitan el desarrollo de varias actividades. Y debido a ello se plantea la hipótesis de que la elaboración del sistema determinará la presencia de retardo de lenguaje en niños de 4 años, por medio de la comparación de la pronunciación de palabras aisladas.

Para este proyecto se establece objetivos como son: desarrollar un sistema para determinar si los niños de preescolar (inicial 2), presentan retraso simple de lenguaje, lo cual se lleva a cabo mediante el desarrollo en el software Python 2.7, se genera una evaluación a través de una interfaz que sea amigable para ellos, se efectúa el procesamiento de señales a las que se le aplica el algoritmo de Coeficientes de Predicción Lineal (LPC) y la comparación a través del cálculo de la distancia Euclidiana entre palabras de la base de datos generada previamente y la palabra ingresada a través de micrófono por el usuario.

## Importancia del problema

Es indispensable someter a una evaluación del habla a los niños de preescolar, debido a que, al realizar una detección temprana de los problemas, como del retraso simple de lenguaje, se puede evitar consecuencias como el presentar afectaciones como fracaso escolar debido a problemas en el aprendizaje, o que el niño presente conductas de aislamiento o problemas de autoestima. Por lo que la detección temprana de problemas en el lenguaje es básica para iniciar el tratamiento rápidamente y minimizar los riesgos de no ser tratado. Por ello el desarrollo de un sistema para detectar problemas fonológicos en los niños, se trata de una herramienta con la que los menores puedan de manera recreativa realizar pruebas de diagnóstico, lo que permite la detección de retardo simple en niños para que posteriormente realicen el tratamiento respectivo y evitar así problemas futuros.

## Metodología

Para el desarrollo del proyecto se utiliza un estudio descriptivo debido a que se realiza la exploración de situaciones y problemas reales, un estudio explicativo porque se determina las causas y efectos que provocan que un niño presente retardo simple de lenguaje y un estudio cuantitativo por la obtención numérica de resultados luego de la evaluación al determinar cuantas palabras son correctas y cuantas son incorrectas dichas por los niños. Mientras que con respecto a los métodos se considera el analítico/deductivo para determinar cuál es el algoritmo más adecuado para el desarrollo del proyecto y los componentes que se requiere para su ejecución. Utilizando la técnica de observación para determinar el comportamiento de los niños con el sistema desarrollado y recolectar la información respectiva.

A partir de lo antes mencionado se determina que para nuestro caso se tiene como variable independiente el desarrollo del sistema para niños de 4 años, el que con un reconocedor de voz y de una interfaz permiten la interacción del usuario y el computador, y como variable dependiente la detección de la existencia o no de retardo simple de lenguaje al ejecutar la comparación entre palabras mediante el algoritmo LPC.

Una vez definido los elementos de la investigación se procede a definir el procedimiento realizado para cumplir con las metas propuestas.

Se seleccionó al algoritmo LPC como el más adecuado ya que por medio de sus coeficientes logra detectar la variación en la pronunciación de las palabras y que provee una separación entre la excitación y el modelo del tracto vocal.

El algoritmo LPC es de los más utilizados, es la combinación lineal de las muestras pasadas, generando una combinación espectral basa en segmentos cortos de la señal. La función de transferencia del filtro se describe como (Alejandro, Ortega, González, y Martínez-romo, 2012)

$$H(z) = \frac{S(z)}{U(z)} = \frac{G}{1 - \sum_{k=1}^p a_k z^{-k}} = \frac{G}{A(z)} \quad (1)$$

Donde  $G$ ,  $a_k$ , y  $p$  son el parámetro de ganancia, de coeficientes del filtro, la señal filtrada  $s[n]$  se relaciona mediante la excitación  $u[n]$ , esto es:

$$s(n) = \sum_{k=1}^p a_k s[n-k] + Gu[n] \quad (2)$$

La estimación de coeficientes de predicción se obtiene al minimizar el error de predicción, dado por:

$$e[z] = s[z](1 - \sum_{k=1}^p akz^{-k}) \quad (3)$$

El error de predicción en un corto tiempo se define como:

$$E = \sum_m e[m]^2 = \sum_m (s[m] - \sum_{k=1}^p akS[m-k])^2 \quad (4)$$

Parte fundamental para la caracterización de la señal de coeficientes de predicción, es establecer un número adecuado de coeficientes de acuerdo a la frecuencia de muestreo, esto es:

$$p = 4 + \frac{fs}{1000} \quad (5)$$

Con lo que se obtiene un resultado óptimo de número de coeficientes LPC que puede representar el menor error cuadrático medio posible.

Se efectuó la creación de la base de datos con 10 palabras aisladas (chocolate, elefante, chupete, vaca, cepillo, conejo, delfín, plato, plancha y tortuga), para ello se realizó en Python 2.7 un programa de entrenamiento que permite almacenar audios de 11 niños que pronuncien correctamente cada una de las palabras.

Después se realiza un segundo programa, el cual consta de etapas como: el diseño de la interfaz que brinda un ambiente amigable para el usuario, el cual consta de imágenes y dos botones, uno para iniciar el proceso y otro para mostrar los resultados.

El niño escuchará un audio con las instrucciones que se requiere para el correcto funcionamiento del programa, el audio indicará que botones debe pulsar.

Se abre una ventana donde se observa una imagen representativa y se escuchará otro audio indicando que debe pulsar en el botón de grabación para que proceda a decir la palabra. Se deberá realizar el mismo procedimiento para los 9 botones restantes.

Durante la ejecución del programa se recolecta la información ingresada por el usuario, la cual se va a llamar más adelante para ser comparada con la base de datos.

Para realizar el procesamiento de los audios tanto de ingreso del usuario como de la base de datos se realiza el procedimiento que consta de varias etapas:

- a) Normalización de la señal de audio, para que tenga una ganancia que lleve la amplitud del pico promedio a un mismo nivel.
- b) Segmentación de la señal, que es la división la señal en fragmentos más pequeños para ser analizada.
- c) Se realiza un ventaneo con el método Hamming para minimizar las discontinuidades de la señal al

principio y al final de cada segmento.

d) Se filtra la señal con un filtro FIR de primer orden de manera de nivelar su espectro, el que se representa con la siguiente ecuación (Pérez, Borrero, 2010):

$$H(z) = 1 - a * z^{-1} \rightarrow \check{S}[n] = S[n] - a * S[n - 1] \quad (6)$$

Donde el valor de  $a$  se recomienda que sea de 0.95, para obtener una ganancia de 32DdB en la frecuencia más alta de la voz sobre la más baja.

e) Se aplica el algoritmo de LPC.

El patrón de cada palabra de la base de datos está formado por 11 grabaciones, de cada una se calcula los coeficientes LPC y se calcula el promedio para obtener una señal como referencia para el reconocimiento.

Finalmente se compara la mínima distancia mediante el cálculo de la distancia Euclidiana para determinar la correcta o incorrecta pronunciación de los niños.

La distancia Euclidiana permite encontrar un valor que representa la distancia entre dos matrices que posean iguales dimensiones.

La ecuación matemática que representa a la distancia euclidiana de dos o más dimensiones se muestra a continuación:

$$D = [\sum [(X_{ij} - X_{ik})]^2]^{1/2} \quad (7)$$

Donde  $X_{ij}$  y  $X_{ik}$  son valores de los atributos de la especie  $i$  en las estaciones  $j$  y  $k$  que se comparan. (Montaigne, 1979)

Los resultados una vez finalizado el proceso muestran la cantidad de palabras bien pronunciadas, y la cantidad de palabras mal pronunciadas por los niños.

## Resultados

En esta sección se demuestran las interfaces que se realizó con el software Python 2.7 para la detección de las palabras y para la obtención de la base de datos con los niños que pronuncien correctamente las palabras establecidas, almacenando cada señal ingresada en archivos wav.

Posterior a ello se realiza el pre procesamiento de cada audio, con lo que se obtiene señales más puras que permitirán la obtención de un patrón mediante el cálculo del promedio de los coeficientes LPC de cada palabra, para proceder a comparar cada patrón con los coeficientes de la señal ingresada por el usuario a través del micrófono.

El porcentaje de reconocimiento por palabra de los ocho intentos se presenta en la Tabla 1, se puede indicar que se alcanzó un 90% de detección de la palabra por el sistema a nivel de la pronunciación.

**Tabla 1.**

Porcentaje de efectividad del sistema de cada palabra de detección.

Palabra	Reconocimiento por intentos	Porcentaje
Chocolate	8	100%
Elefante	7	90%
Vaca	4	50%
Chupete	7	90%
Cepillo	7	90%
Conejo	8	100%
Plato	8	100%
Delfín	6	80%
Plancha	8	100%
Tortuga	8	100%
TOTAL	71	
	Efectividad	90%

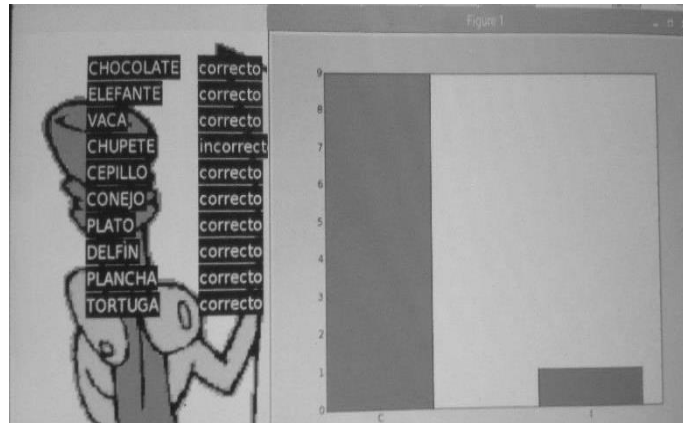
Para la evaluación y verificación del sistema se ejecuta las pruebas con dos intentos por cada niño, en la Tabla 2 se puede observar la funcionalidad del sistema determinando en donde se obtuvo una falsa respuesta en el método, obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 2.**

Resultados de los usuarios que utilizaron el sistema

Palabra	Usuario 1		Usuario 2		Usuario 3		Usuario 4	
	Intento1	Intento2	Intento1	Intento2	Intento 1	Intento2	Intento1	Int2
Chocolate	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Elefante	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Vaca	X	X	✓	✓	✓	X	X	✓
Chupete	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓
Cepillo	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓
Conejo	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Plato	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Delfín	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X
Plancha	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tortuga	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Total	8	9	10	8	10	9	8	9
Aciertos	80%	90%	100%	80%	100%	90%	80%	90%

Para la visualización de los resultados se muestra una gráfica de barras donde se contabiliza las palabras correctas en color rojo, y las incorrectas en color azul como se muestra en la figura 1.



**Figura 1.**

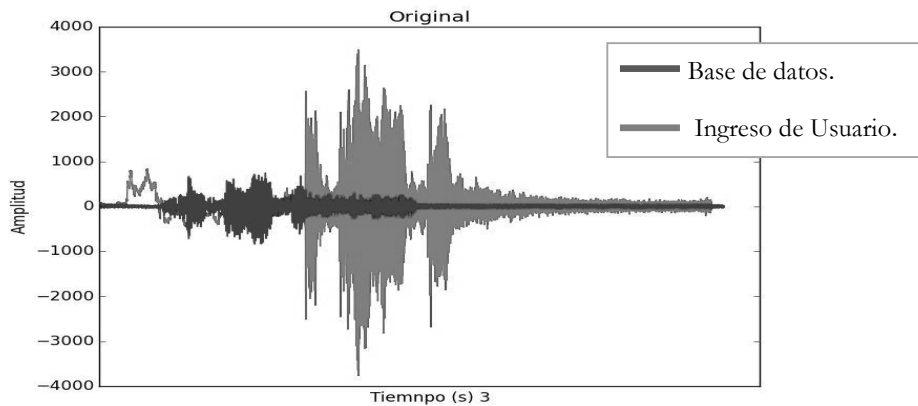
Cantidad de palabras correctas e incorrectas

**Discusión**

Mediante la implementación del sistema en el software Python 2.7 de Raspberry Pi3, y con la ayuda de las librerías que ofrece, se pudo desarrollar la detección de la pronunciación correcta o incorrecta en niños de 4 años para determinar el nivel de retardo simple de lenguaje para que con la ayuda de un especialista realice el tratamiento respectivo.

El sistema permite la interacción entre humano-computadora, para la detección de palabras dichas por cualquier niño debido a que no solo permite la utilización por parte de las personas registradas en la base de datos.

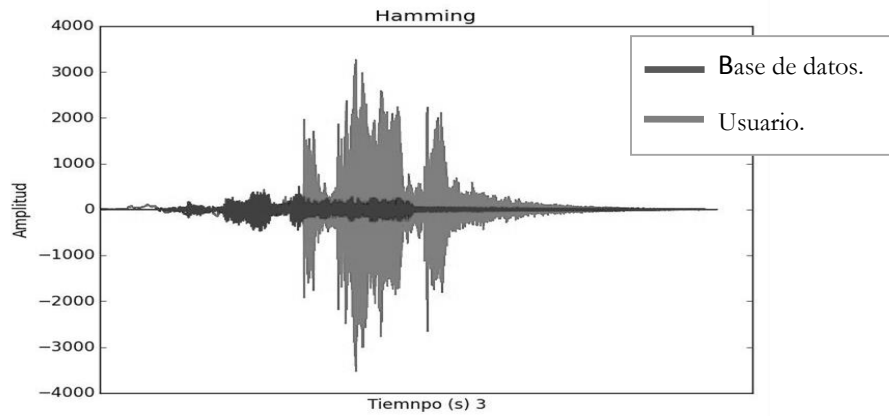
Para poder realizar un análisis a partir del modelo de los coeficientes en el reconocimiento de palabras de un locutor aislado, se obtuvieron algunas gráficas que se muestran a continuación. En la Figura 2 se muestra dos señales de audio, la de color azul representa la ingresada por el usuario y la de color verde la señal obtenida de la base de datos, cada una de ellas con una duración de 3 segundos y con una frecuencia de muestreo de 44100Hz.



**Figura. 2.**

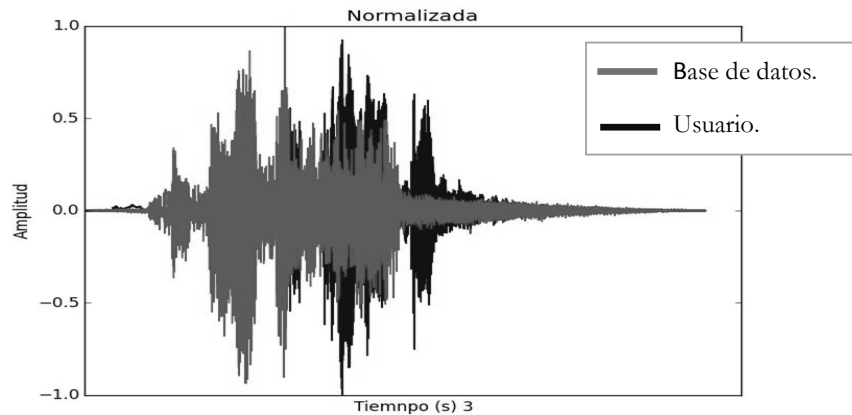
Muestras de las señales de la palabra chocolate.

Se procede a realizar el producto entre la señal original y la ventana de Hamming, considerando que el número de muestras depende de la longitud de la señal, la de color azul es del usuario y la verde de la base de datos como se muestra en la Figura 3.



**Figura 3.**  
Producto de señales con ventana de Hammin

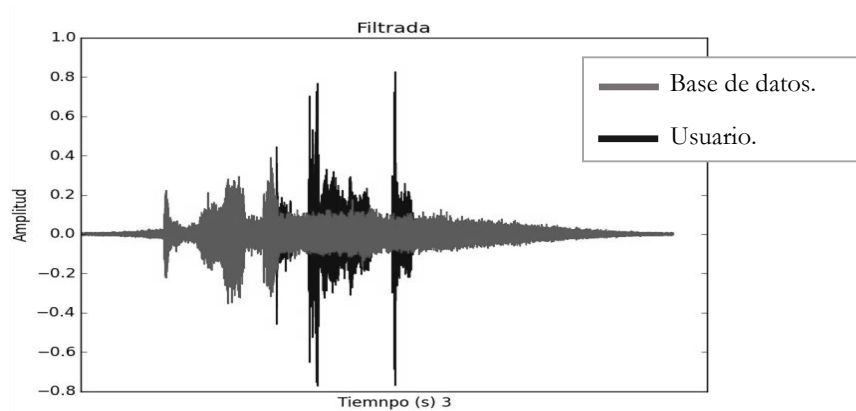
Las gráficas de las señales normalizadas muestran que las señales con una ganancia que lleva la amplitud del pico promedio a un mismo nivel, señal azul del usuario y verde de la base de datos como se observa en la Figura 4.



**Figura 4.**  
Normalización de señales

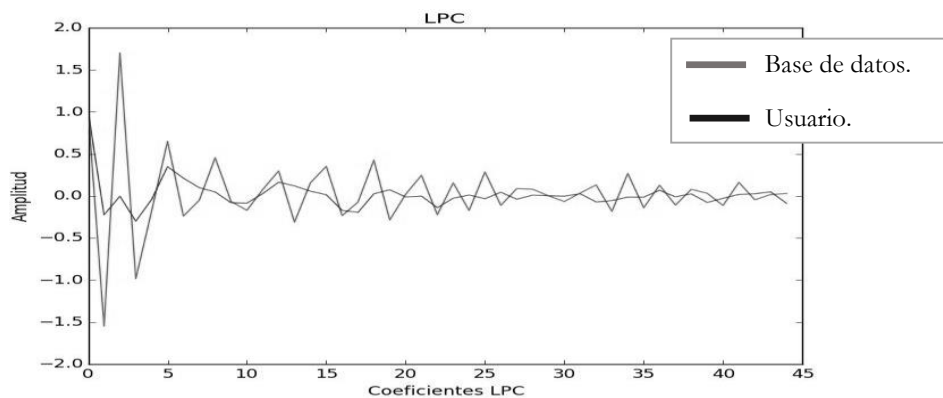
Para obtener una señal más pura se aplica un filtrado FIR de primer orden que permite el paso de las frecuencias altas como se muestra en la Figura 5.





**Figura 5.**

Filtrado de las muestras de señales de voz



**Figura 6.**

Comparación de coeficientes LPC

Se muestran los resultados de los coeficientes LPC mediante gráficas que se observan en la Figura 6, considerando que existe variación entre los coeficientes de la base de datos y de la señal ingresada por el usuario, por lo tanto, se determina que la pronunciación es incorrecta, la azul es del usuario y la roja es de la base de datos.

Para el diagnóstico de cada niño del nivel de retardo simple de lenguaje se clasifica es: Leve cuando el niño presenta un desarrollo fonológico dentro de un nivel normal y no se advierte distorsiones y dificultades especiales. Moderado cuando se presenta la reducción evidente de patrones fonológicos. Severo cuando tiene reducidos los patrones fonológicos casi al mínimo, esta clasificación se considera de las palabras erróneas que tiene el niño es decir los resultados de cada usuario se los efectúa basados en el test de Evaluación e intervención en niños con trastornos fonológicos y riesgo de dificultad de aprendizaje de la lectura y escritura, del José Fco. Cervera y Amparo Ygual de la Universidad de Valencia.

### Conclusiones

Mediante el uso del software Python con sus librerías, se logró elaborar un sistema amigable para la utilización de niños de 4 años para realizar una prueba de diagnóstico que permita determinar si presentan o no retardo simple de lenguaje.

Los usuarios utilizan un sistema que otorga el 88.75% de eficiencia, lo que permite tener un método confiable para la determinación de la presencia de retardo simple de lenguaje en niños de 4 años.

Debido a que las pruebas se realizaron en ambientes reales, se obtuvieron algunos resultados erróneos, ya que por la presencia de ruido en el ambiente se genera problemas en el desarrollo de la comparación de palabras, porque el cálculo de los coeficientes LPC varía produciendo un desfase en los valores a comparar en la distancia Euclidiana.

Gracias al diseño del sistema se puede modificar para aumentar palabras de acuerdo al test de evaluación, sin embargo, este es un sistema que responde con igual efectividad independiente del estado de ánimo del usuario. El retraso de lenguaje es un desfase entre el lenguaje del niño con otro de su misma edad, es aconsejable comenzar el tratamiento lo antes posible con cualquier niño que presente retardo simple de lenguaje leve, moderado y severo para evitar posibles problemas al futuro.

### Referencias

- Arellano, E., Elena, M., Briceño, A., & Benito, J. (2003). *Reconocimiento de voz*. Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México, México.
- Artigas, J., Rigau, E., & García-Nonell, K. (2008). *Trastornos del lenguaje*.
- Fern, V. (1997). *Antecedentes y desarrollo de los sistemas actuales de reconocimiento*, 1, pp. 321-346.
- Montaigne, M. (1979). *4 Medidas de afinidad*, pp. 26-43.
- Ortega, Alejandro, C., D. L., González, M. M., & Martínez-romo, j. c. (2012). *Reconocedor de palabras con el uso de regresión lineal y coeficiente muestral*, (44), pp. 5-9.
- Padilla, W., Macas, D. (2012). *Estudio de los Modelos Ocultos de Márkov y desarrollo de un prototipo para el reconocimiento automático del habla*. Estudio de la Universidad Politécnica Salesiana.
- Pérez, J., Borrero, H. (2010) *Identificación de comandos de voz utilizando LPC y algoritmos genéticos en Matlab*. pp. 38-50
- Tonato, Y., (2015). *El entorno familiar y su relación en el retraso simple del lenguaje en niños de 1 a 3 años en el Centro de Desarrollo Integral "Melitas Garden de la ciudad de Ambato"*. Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ciencias de la Salud Carrera de Estimulación Temprana.



**CAPÍTULO 3**  
**ENERGÍA LIMPIA**

# Estudio del potencial eólico en la provincia de Chimborazo a través de estaciones meteorológicas de la ESPOCH

**Lenin Santiago Orozco Cantos**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
lsorozco@espoch.edu.ec

**Ángel Jácome**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
ejacome@espoch.edu.ec

**Edwin Fernando Viteri**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
eviteri@espoch.edu.ec

## Resumen

Se realiza un estudio de la estimación del potencial eólico en la provincia de Chimborazo mediante métodos probabilísticos en los tres últimos años 2014, 2015 y 2016. Se dispondrá de información sobre las variables: velocidad de viento promedio y direcciones del viento, mismas que han sido tomadas a 10 metros de altura. El estudio abarca la estimación de la energía eólica en 7 estaciones monitoreadas por el Centro de Investigación en Energías Alternativas y Ambiente de la ESPOCH a lo largo de la provincia: Campus-Espoch, Atillo, Matus, Quimiag, San Juan, Tunshi y Urbina. Como consecuencia del presente trabajo investigativo se obtuvo los histogramas de frecuencia de la velocidad del viento, su aproximación a la distribución de Weibull, cálculo de la energía anual aprovechable, energía promedio disponible, extrapolación del valor de las velocidades a diferentes alturas, representación gráfica de las direcciones del viento en cada estación y georeferenciación de los datos obtenidos.

**Palabras claves:** Energía alternativa, Potencial eólico, Estaciones meteorológicas de Chimborazo, Software estadístico spss 23.0.

## Abstract

A study of the estimation of the wind potential in the province of Chimborazo is carried out using probabilistic methods in the last three years 2014, 2015 and 2016. Information will be available on the variables: average wind speed and wind directions, which have been taken at 10 meters high. The study covers the estimation of wind energy in 7 stations monitored by ESPOCH's Center for Research in Alternative Energies and Environment throughout the province: Campus-Espoch, Atillo, Matus, Quimiag, San Juan, Tunshi and Urbina. As a consequence of the present investigation, we obtained histograms of frequency of the wind speed, its approximation to the Weibull distribution, calculation of the annual energy available, average energy available, extrapolation of the value of velocities at different heights, the directions of the wind in each station and georeferencing of the obtained data.

**Keywords:** Alternative energy, Wind potential, Chimborazo meteorological stations, Spss 23.0 statistical software.

## Introducción

### Introducción al problema

Energía, se considera como el trabajo que realizan los cuerpos para producir electricidad, luz, calor, movimiento mecánico entre otras aplicaciones, por ello los procesos utilizados para obtener energía eléctrica, son fuente energética renovable y fuente energética no renovable. (ITC, 2008).

Energías renovables son recursos que se están regenerando continuamente, de tal manera que se tornan inagotables como lo es la solar, eólica, biomasa, etc. La eólica surge a partir del conjunto de interacción de masas de aire las que producen energía cinética, esto incentiva a que su explotación sea técnica y económicamente viable, en unas condiciones de producción y coste competitivas con las fuentes tradicionales (hidráulica, térmica clásica o termonuclear). El viento es un movimiento del aire desde áreas de presión más altas, hacia áreas de baja presión. Estas diferencias de presión son causadas por diferencias de temperaturas. Generalmente, las temperaturas más frías desarrollan presiones más altas, debido al aire fresco que se desplaza en dirección a la superficie de la Tierra. Las bajas presiones se forman por el aire caliente que se irradia desde la superficie terrestre. En resumen, el viento se produce al existir una variación de temperatura entre dos puntos (Domínguez, 2016).

La existencia de viento pone a nuestro alcance una energía totalmente renovable, la energía eólica, aunque siempre estaremos a merced de su variabilidad, lo que nos obligará en muchos casos a disponer de otras fuentes alternativas para poder mantener un régimen continuo de consumo (Domínguez, 2016).

Energías No Renovables se considera a energía aquellos combustibles que no se pueden recuperar en corto tiempo para poder obtenerlos nuevamente tendrán que pasar grandes periodos de tiempo. Al obtener una fuente de energía de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) fue importante para las primeras formas de extracción de energía, pero al mantener este consumo su fuente se vuelve agotable.

En el Ecuador, la principal fuente de generación de energía es Térmica, esto implica el consumo de derivados de petróleo como el bunker, que se considera energía no renovable, los cuales afectan directa e indirectamente al medio ambiente, por tal motivo es necesario un cambio energético, donde se aplique el uso de nuevas y actuales formas de producción con energía renovable.

Las investigaciones realizadas en base al potencial eólico en Ecuador, catapultaron a la Central Eólica Villonaco, como uno de los proyectos pioneros a nivel de Sudamérica, que se encuentra ubicado en la provincia de Loja (MEER), otro emblemático proyecto realizado se localiza en la isla San Cristóbal del Archipiélago de Galápagos, dentro de la misma está el proyecto Baltra- Santa Cruz (Proyecto Emblemáticos en Galápagos, 2014), cada uno de los proyecto se enfocan en buscar y aprovechar fuentes de energía alternativa que ayuden a la solución de problemas energéticos y ecológicos. El trabajo mancomunado de todas las centrales termoeléctricas hace referencia a una producción de 10 870,42 GWH en el año 2016, en comparación con los parque eólicos que generan 83,96 GWH en al mismo año, estos indicadores muestran que se puede llegar a reducir la producción de centrales térmicas y compensar con parques eólicos en distintos sectores estratégicos del país. (Ver Tabla 1).

**Tabla 1.**  
Producción energética anual con su respectiva fuente energética

		Medidas									Variación (%)
		Energía (GWH)									Tipo Central
		Tipo Central									Tipo Central
Año	Tipo de energía	Sub tipo central	Todos	Biogás	Biomasa	Eólica	Hidráulica	Interconexión	Solar	Térmica	Todos
Todos	Todos	Todos	327.348,34	13,28	3.284,24	335,24	170.733,40	13.137,46	95,42	139.748,64	
1999	Todos	Todos	10.331,88				7.176,73	23,76		3.131,39	
2000	Todos	Todos	10.612,44				7.611,23			3.001,21	2,64 %
2001	Todos	Todos	11.072,03				7.070,65	22,23		3.979,15	4,15 %
2002	Todos	Todos	11.943,86				7.524,26	56,30		4.363,30	7,30 %
2003	Todos	Todos	12.665,74				7.180,42	1.119,61		4.365,71	5,70 %
2004	Todos	Todos	14.226,46		3,24		7.411,70	1.642,61		5.169,90	10,97 %
2005	Todos	Todos	15.127,47		102,86		6.882,64	1.723,45	0,01	6.418,51	5,96 %
2006	Todos	Todos	16.686,32		145,56		7.129,49	1.570,47	0,01	7.840,79	9,34 %
2007	Todos	Todos	18.197,52		218,75	0,96	9.037,66	860,87	0,02	8.079,27	8,30 %
2008	Todos	Todos	19.108,69		208,32	2,68	11.293,33	500,16	0,03	7.104,16	4,77 %
2009	Todos	Todos	19.385,37		216,52	3,20	9.255,41	1.120,75	0,01	8.819,48	1,43 %
2010	Todos	Todos	20.382,76		235,56	3,43	8.636,40	872,90	0,00	10.634,46	4,89 %
2011	Todos	Todos	21.838,73		278,20	3,34	11.133,09	1.294,59	0,00	9.129,45	6,67 %
2012	Todos	Todos	23.086,16		296,35	2,40	12.237,72	238,20	0,33	10.311,16	5,40 %
2013	Todos	Todos	23.922,67		295,79	56,70	11.038,82	662,34	3,66	11.865,35	3,50 %
2014	Todos	Todos	25.143,95		399,47	79,74	11.457,90	836,74	16,48	12.353,62	4,86 %
2015	Todos	Todos	26.462,01		407,75	98,81	13.096,27	511,81	36,06	12.311,31	4,98 %
2016	Todos	Todos	27.154,28	13,28	476,52	83,96	15.589,69	81,66	38,75	10.870,42	2,55 %

**Fuente:** (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2016)

Mediante los datos de velocidad y dirección de viento, que el Centro de Investigación en Energías Alternativas y Ambiente CEAA- ESPOCH recopila con Anemómetros Totalizados o Anemómetros de Hélice con un sensor, los mismos que se rigen en base al organismo que norma y controla la actividad meteorológica la cual es la Organización Meteorológica Mundial OMM.

Las necesidades de suelo es un aspecto medioambiental al que se debe prestar atención. En general, en un parque eólico los aerogeneradores se instalan manteniendo entre ellos una separación del orden de 5 a 9 diámetros del rotor en la dirección del viento dominante y de 3 a 5 diámetros en la dirección perpendicular a la misma. Estos valores pueden cambiar en función de la orografía del terreno, régimen de vientos y tipo de aerogeneradores. (Comisión Nacional de Energía, 2006). Las consideraciones, como uso del suelo en un parque eólico se encuentran entre 50 y 150 m<sup>2</sup>/kW ubicados de manera que la capacidad en unidad de área está determinada entre 6 y 20 MW/km<sup>2</sup>.

Al hablar de la ocupación del suelo otro aspecto importante es la rugosidad, en general, cuanto más pronunciada sea la rugosidad del terreno mayor será la ralentización que experimente el viento, obviamente, los bosques y las grandes ciudades ralentizan mucho el viento, mientras que las pistas de hormigón de los aeropuertos sólo lo ralentizan ligeramente. Es un error habitual creer que, en el caso de acantilados y similares, uno puede añadir la altura del acantilado a la altura de la torre del aerogenerador para obtener su altura efectiva cuando el viento viene del mar, evidentemente esto no se puede hacer. El acantilado creará turbulencia, y frenará el viento antes incluso de que llegue al acantilado. En la industria eólica, la gente suele referirse a la clase de rugosidad o a la longitud de rugosidad (Z0) cuando se trata de evaluar las condiciones eólicas de un paisaje. El término longitud de rugosidad se refiere a la máxima distancia sobre el nivel del suelo

a la que teóricamente la velocidad del viento es nula. En la siguiente tabla pueden consultarse las longitudes de rugosidad aproximadas correspondientes a distintos tipos de paisajes (De Toro, 2011).

El objetivo principal del estudio es fundamentar cuantitativamente el potencial eólico y características. Los objetivos secundarios son analizar la información primaria de las variables: velocidades del viento, dirección del viento, densidad del aire, elevación, temperatura, presión atmosférica, factor de rugosidad. Procesar y sistematizar los datos que determinen el potencial eólico de la provincia de Chimborazo. Proponer posibles puntos en los cuales el potencial eólico es representativo para un posible parque eólico.

### **Importancia del problema**

La importancia del estudio radica en la necesidad de conocer actualmente la disponibilidad de la energía eólica en la provincia de Chimborazo, para la aplicación de futuras investigaciones como la factibilidad de implementación de un parque eólico en las zonas con mayor disponibilidad de este recurso, así como también la selección o diseño de un aerogenerador adecuado para la zona.

El registro meteorológico de los datos de velocidad y dirección del viento se lo ha realizado en las locaciones antes señaladas, en algunos casos con bitácoras de 7 años, en otras estaciones existen algunos registros más jóvenes que bordean los 5 y 3 años. En todos los casos no se ha llevado a cabo un estudio a través de los mismos, quedando únicamente en la recopilación propia.

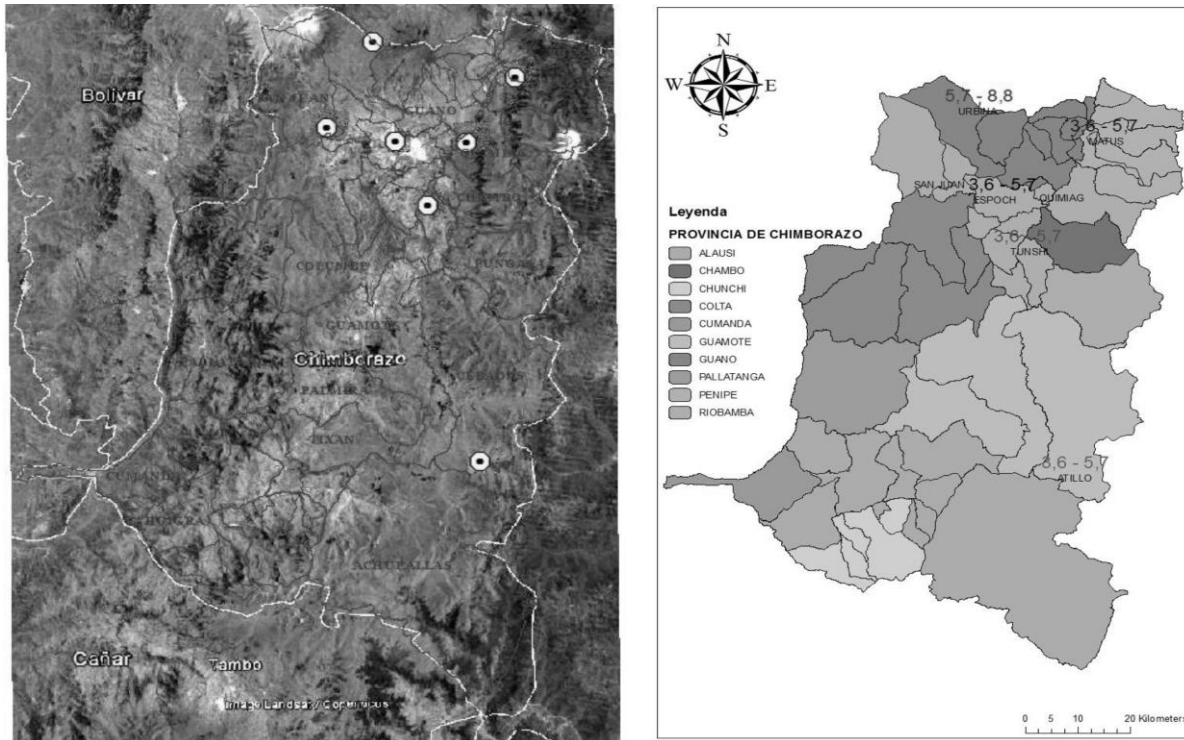
El procesamiento estadístico de los datos medidos en lugares puntuales, resulta de vital importancia al momento de plantear alternativas de aprovechamiento de energía para las zonas en tratamiento. En concordancia con las políticas gubernamentales se debe priorizar a los sectores vulnerables los mismos que son las áreas rurales.

### **Metodología**

La investigación es de tipo experimental pues se manipulan intencionalmente variables como: la posición geográfica de la estación de monitoreo y la altitud de medición de datos. En respuesta se obtuvieron distintos valores para la velocidad y dirección del viento. De acuerdo al manejo de la información la investigación es cuantitativa, dado que se tiene datos de velocidad del viento en m/s y a partir de ella se determinará el potencial eólico en siete zonas de la provincia de Chimborazo. La investigación es además exploratoria, teniendo en cuenta que es una primera aproximación a la estimación de la energía eólica en ecosistemas de la provincia de Chimborazo. La investigación tiene un diseño de campo, puesto que todos los datos son tomados estrictamente en el mismo lugar donde fueron medidos, esto es, en las 7 estaciones de monitoreo. Fue además de diseño transversal, porque estuvo definida en el tiempo y es retrospectiva, porque se utilizaron datos de años anteriores. Se aplicó el Método científico, que consiste en identificar un problema, ubicarlo en su contexto teórico, plantear un supuesto o hipótesis y contrastarla, para establecer las correspondientes conclusiones. El método se apoya en procesos de inducción, deducción, análisis y síntesis.

La investigación abarca el estudio de 7 estaciones de monitoreo Campus-ESPOCH, Atillo, Matus, Quimiag, San Juan, Tunshi y Urbina, para obtener información sobre la velocidad y dirección del viento en cada una de las estaciones. Se determinaron mediante la metodología de la distribución de Weibull la distribución acumulativa, la distribución acumulativa complementaria, además se evaluó los parámetros por el método de mínimos cuadrados, se dedujo la ecuación de regresión lineal, se determinó la frecuencia puntual y la acumulada, se evaluaron los parámetros  $k$  y  $c$ , forma y escala correspondientemente, se graficó la

aproximación lineal de Weibull, se determinó la función densidad de probabilidad de Weibull, se calculó la potencia media acumulada de salida y finalmente se evaluó la energía anual extraíble del recurso eólico.



. **Figura 1.**

Ubicación de las estaciones de monitoreo y mapa de la provincia del Chimborazo

En todas las estaciones se recopilaron datos desde hace 3 años 2014, 2015 y 2016, en el caso del año 2016 hasta el mes de agosto. Para efectos de simplificación se trabajó con valores promedios por hora, ya que las estaciones registran mediciones cada 5 minutos, obteniéndose un total de datos en los años indicados de 399 040 valores. Los datos registrados son: Velocidad del viento promedio y máxima y la dirección del viento promedio y máxima. Los datos fueron tomados a 10m, altura a la cual estaban posicionados los anemómetros en todas las estaciones. Para cada una de las estaciones se realiza el proceso detallado a continuación:

### Evaluación de entrega de energía

Como se mencionó anteriormente, en cada estación se realiza el estudio para cada año del 2014 al 2016, en este acápite primero se determina los valores promedio de velocidad y dirección del viento y se realiza un histograma de frecuencias, diagrama de probabilidad de ocurrencia, variaciones mensuales en un año.

### Aproximación a la distribución de Weibull

Se determina la función de densidad de probabilidad para la variable V velocidad del viento, con el cálculo de los parámetros de escala (C) y forma (k)

$$f(v) = \frac{k}{C} \left(\frac{v}{C}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{C}\right)^k}$$



### Cálculo de la potencia media de salida

Para el cálculo de la potencia media de salida se utiliza la ecuación:

$$P_{msn} = \left( \frac{P_{i_{n-1}} - P_{i_n}}{2} \right) f(v)$$

Donde  $P_{msn}$  Es la potencia media de salida,  $P_i$  es la potencia instantánea del aerogenerador a diferentes velocidades y  $f(v)$  es la función densidad de probabilidad de Weibull.

Se puede calcular además el valor de la potencia media de salida acumulada, tomando en consideración el cálculo de la función de densidad acumulada.

### Cálculo de energía anual extraíble del recurso eólico

El cálculo de la energía anual extraíble se encuentra multiplicando la potencia media de salida acumulada total por 8760, que corresponde al número total de horas en un año.

$$E_{anual} = P_{msa} T \quad (h_{en\ un\ año})$$

### Potencia disponible

Es la potencia contenida en el viento debido a su energía cinética y está dada por la ecuación:

$$P_d = \frac{1}{2} \rho A (V^3)$$

Donde:

$\rho$  Es la densidad del aire en la localidad de estudio

A es el área de barrido del aerogenerador

V es la velocidad promedio anual

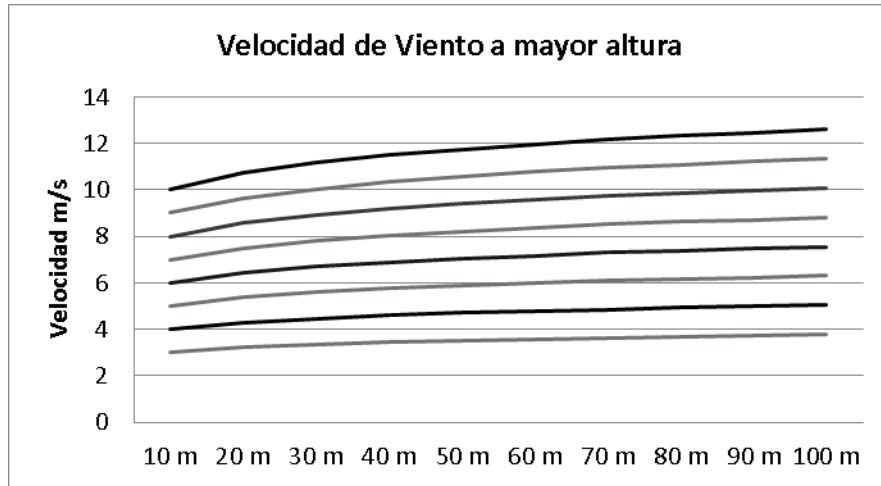
### Cálculo de las velocidades del viento a diferentes alturas

Las velocidades de viento medias se obtienen a partir de los registros de las estaciones medidos a una altura de 10 metros. Sin embargo, las alturas del buje de los aerogeneradores modernos de 600 a 1500 kW son normalmente de 40 a 80 metros.

Para tener una idea clara de las proyecciones de velocidades a diferentes alturas se utiliza una relación de velocidades y alturas elevado a la longitud de rugosidad. Las velocidades de viento medidas suelen obtenerse a partir de datos meteorológicos medidos a una altura de 10 metros. Sin embargo, las alturas del buje de los aerogeneradores modernos de 600 a 1500 kW son normalmente de 40 a 80 metros. Para tener una idea clara de las proyecciones de velocidades a diferentes alturas se utiliza una relación de velocidades y alturas elevado a la longitud de rugosidad.  $Z_0 = 2\ m$

$$\frac{V}{V_0} = \left( \frac{H}{H_0} \right)^{Z_0}$$

La velocidad del viento promedio que se puede esperar para mayores alturas basado en el modelo de perfil de velocidades considerando un lugar con rugosidad.



**Figura 2**

Velocidad del viento en relación a la altura

**Representación en la Rosa de los vientos velocidad y dirección del viento**

Para la representación de la rosa de los vientos se usó el software WRPLOT View. Esta representación es muy útil porque muestra información simultánea, dirección e intensidad del viento en un mismo gráfico, llamado rosa de los vientos.

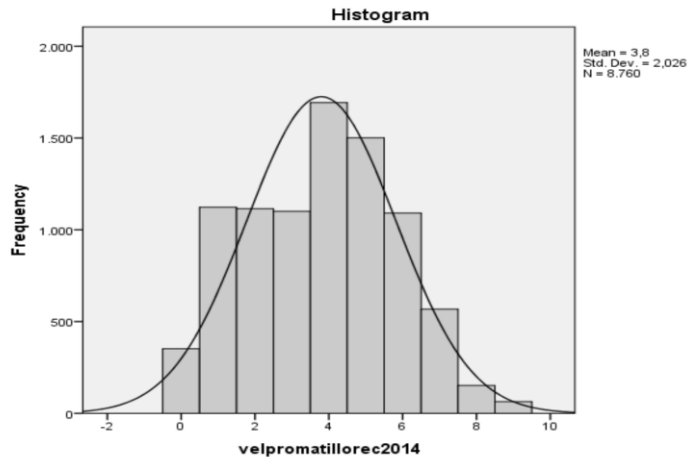
**Georeferenciación del recurso eólico en el mapa de la provincia de Chimborazo**

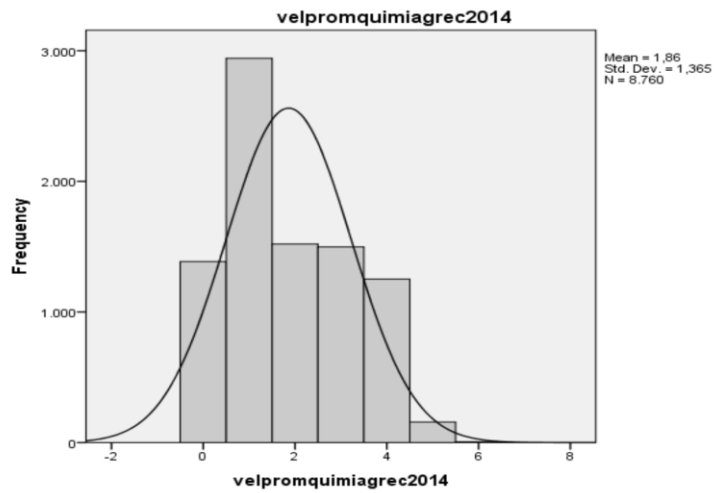
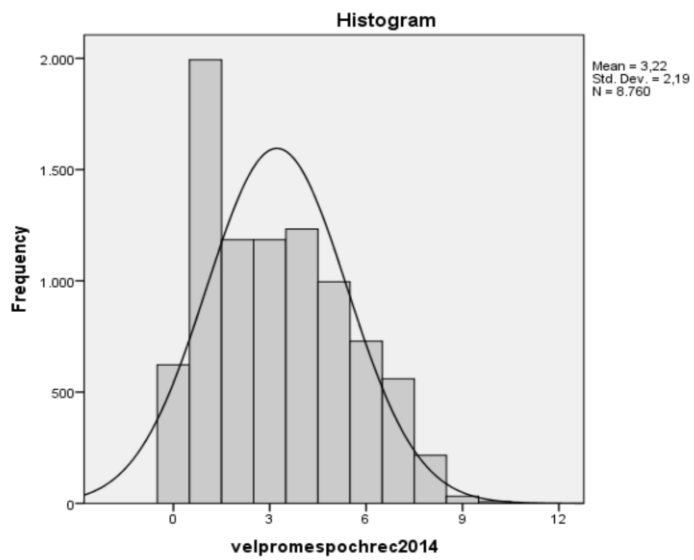
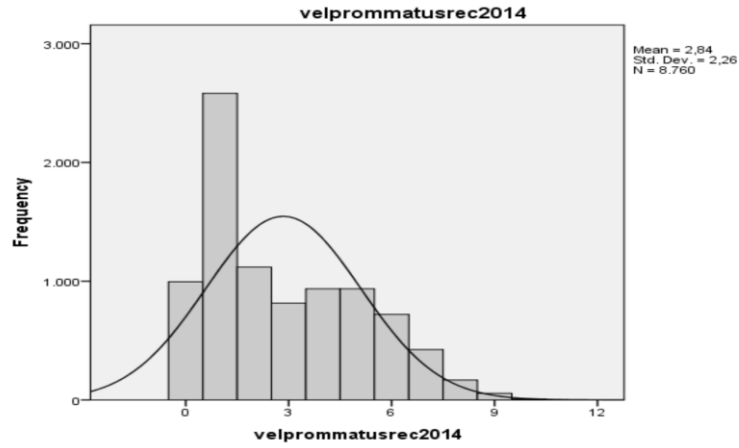
Para la georeferenciación del recurso eólico en el mapa de la provincia de Chimborazo se utilizó el programa arcgis 10.4, mediante los cálculos realizados anteriormente para cada estación se obtuvo la Tabla 4, cuyos valores indican variables como: ID, latitud, longitud, estación, PMSA para cada año, E. anual para cada año.

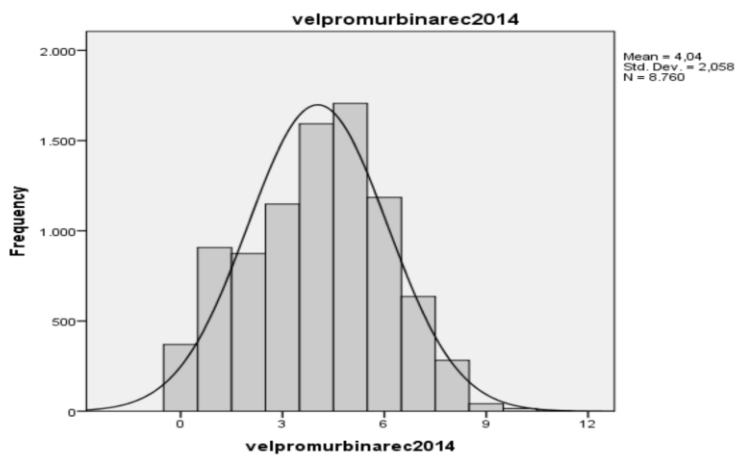
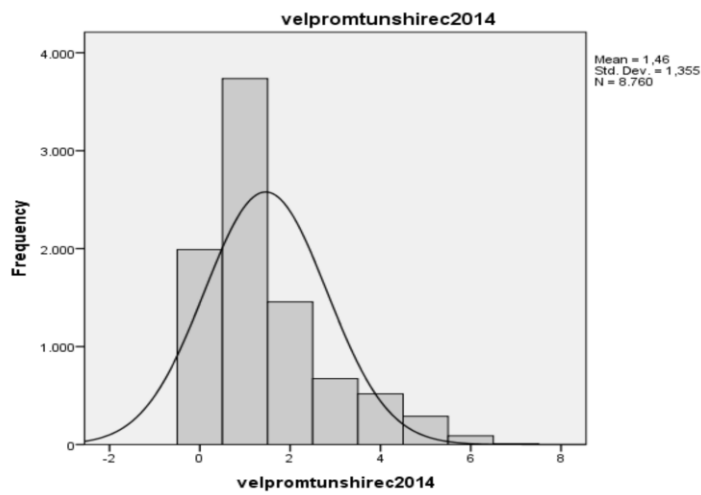
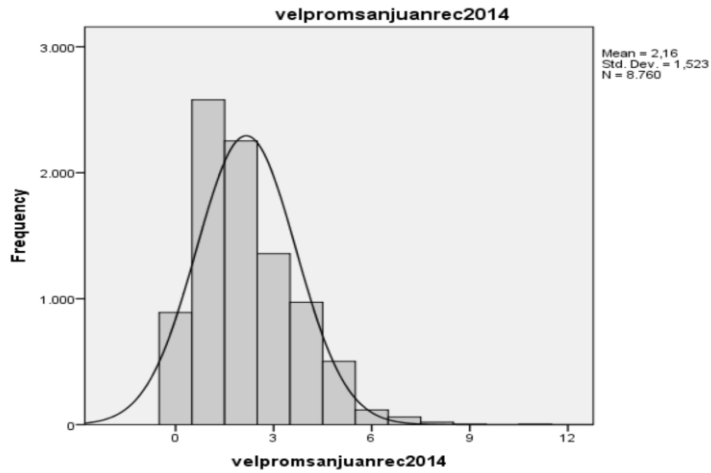
**Resultados**

**Evaluación de entrega de energía**

De una manera ilustrativa los histogramas de frecuencia que se presentan a continuación corresponden al año 2014 por ser el año que en la mayoría de estaciones se tiene la mayor cantidad de datos (8760 datos en promedio). Para el estudio se debió elaborar en su totalidad dichos diagramas para cada año (2014, 2015 y 2016) y estación.







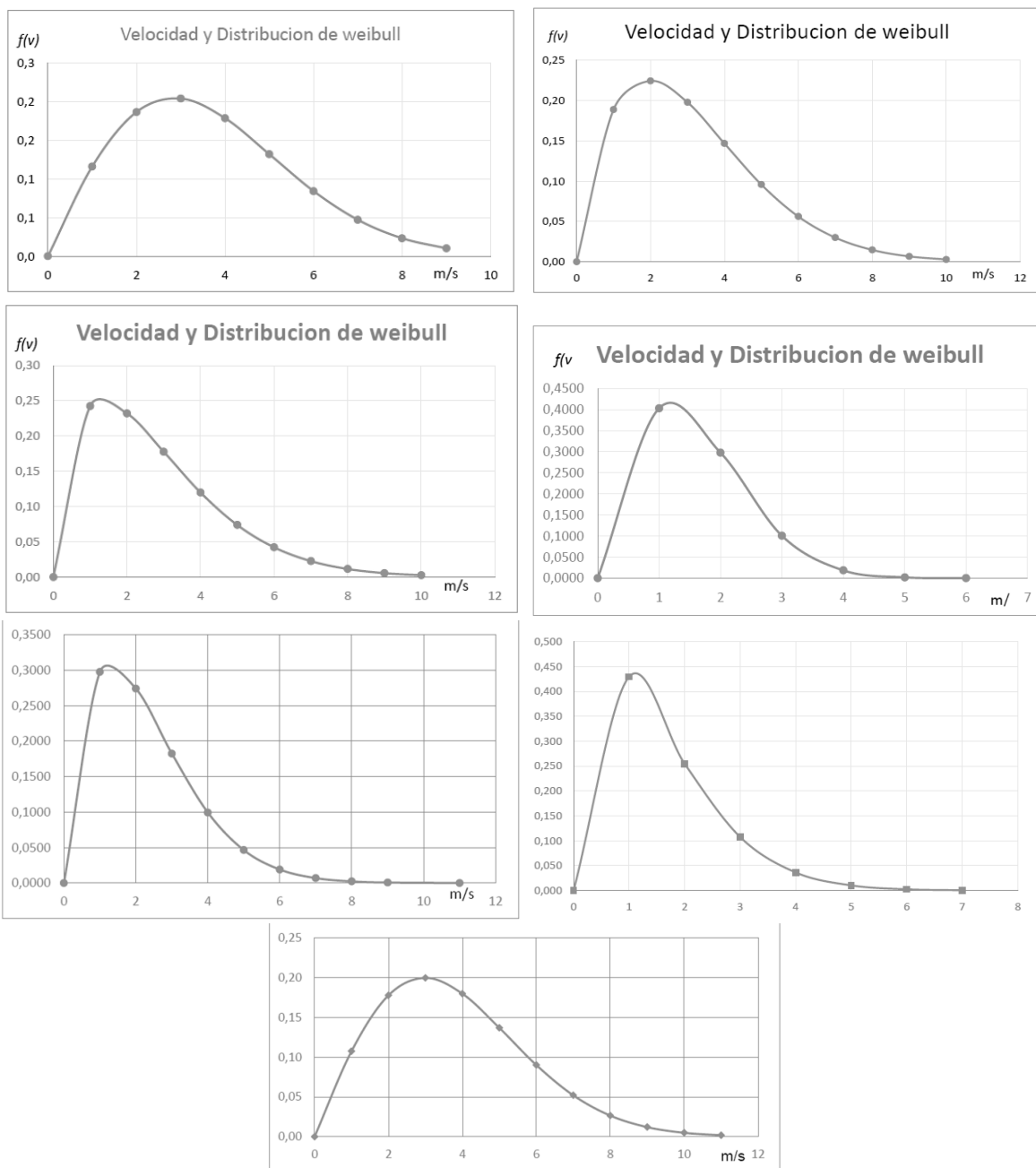
**Figura 3.**

Histogramas de frecuencia Atillo, Campus-ESPOCH, Matus, Quimiag, San Juan, Tunshi y Urbina Año 2014.

### Aproximación a la distribución de Weibull

Los esquemas a continuación correspondiente a la grafica de la función de densidad de probabilidad de la distribución de Weibull corresponden al año 2014, siguiendo las mismas condiciones que los histogramas.

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$$



**Figura 4.**

Esquemas de la distribución de Weibull Atillo, Campes ESPOCH, Matus, Quimiag, San Juan, Tunshi, Urbina. Año 2014.

Para cada uno de las distribuciones de Weibull de de las estaciones y sus correspondientes años se enlistan los parámetros de escala y forma en la Tabla 2, a continuación:

**Tabla 2.**

Valores de los parámetros de escala y forma para las distribuciones de Weibull

	<b>Atillo</b>			<b>San Juan</b>		
	2014	2015	2016	2014	2015	2016
K	1,95	1,95	1,75	1,57	1,66	1,69
b	-2,76	-2,97	-2,25	-1,42	-1,57	-1,41
c	4,12	4,12	3,61	2,47	2,58	2,3
	<b>Campus ESPOCH</b>			<b>Tunshi</b>		
k	1,65	1,32	1,63	1,44	1,47	1,45
b	-2,04	-1,36	-1,41	-0,73	-0,74	-0,72
c	3,44	2,8	2,37	1,66	1,66	1,65
	<b>Matus</b>			<b>Urbina</b>		
k	1,45	1,67	1,77	1,97	2,4	2,23
b	-1,58	-0,87	-0,9	-2,87	-3,9	-3,43
c	2,98	1,68	1,67	4,25	5,08	4,67
	<b>Quimiag</b>					
k	1,9	1,88	1,89			
b	-1,06	-1,4	-1,41			
c	1,75	2,1	2,11			

**Potencia media de salida acumulada, energía anual aprovechable y energía disponible**

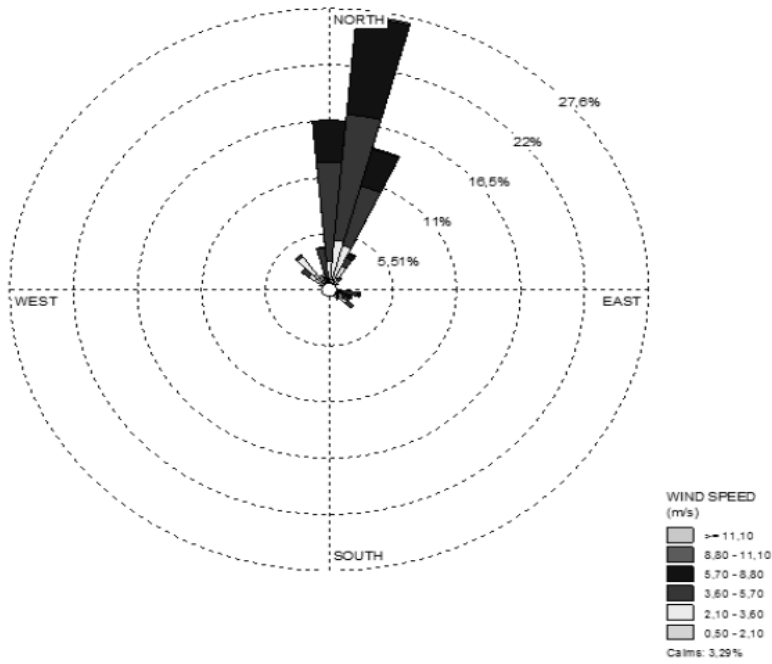
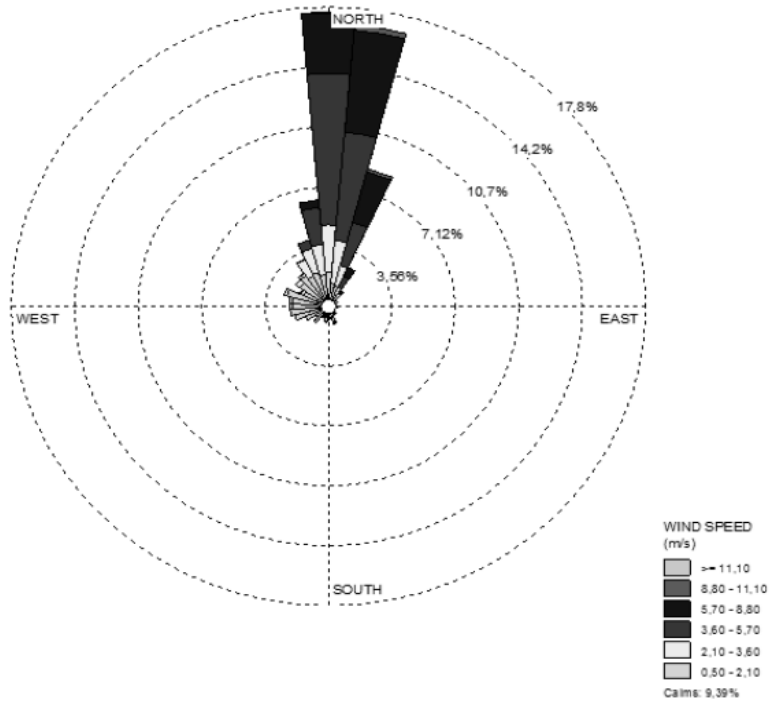
**Tabla 3.**

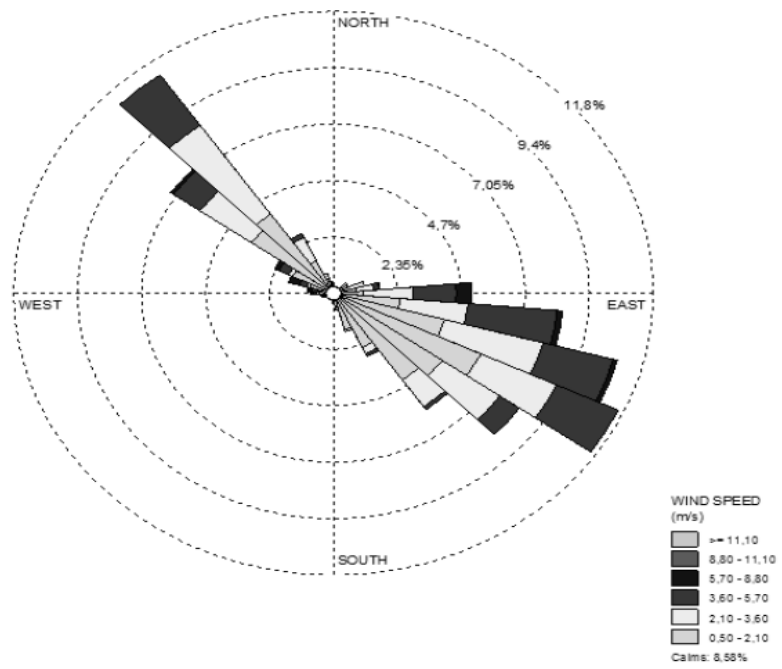
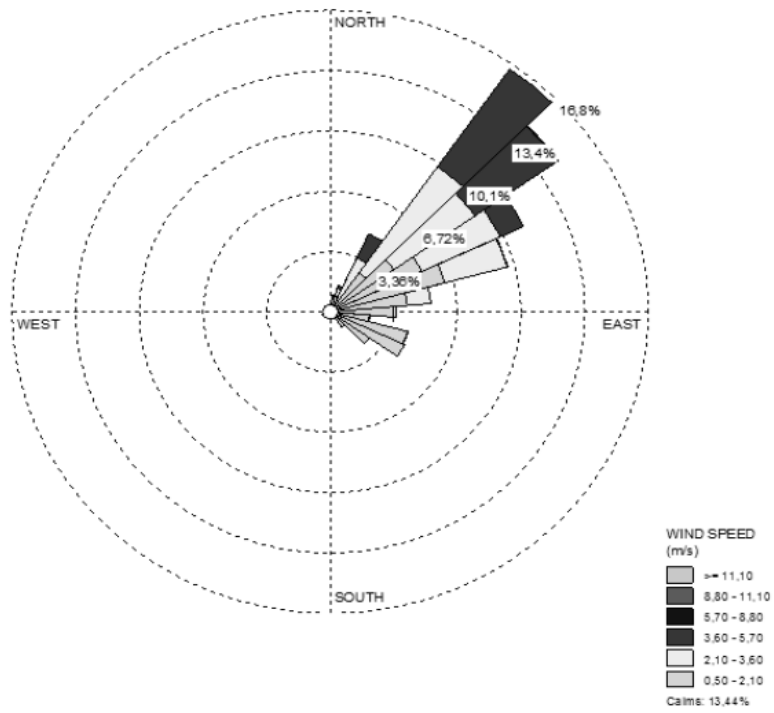
Valores de energía calculados en las diferentes estaciones

	<b>Potencia media de salida acum. [kW]</b>			<b>Energía anual aprovechable [MWh]</b>			<b>Energía disponible [MWh]</b>		
	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016
<b>Atillo</b>	83,14	69,94	63,61	728,31	612,67	349,41	1046,78	669,67	831,04
<b>ESPOCH</b>	59,52	36,33	12,46	521,40	318,25	68,44	689,97	197,49	162,64
<b>Matus</b>	46,73	1,31	0,86	409,35	11,48	4,72	463,95	67,19	65,33
<b>Quimiag</b>	0,85	3,51	3,3	7,45	30,75	18,13	134,25	149,75	152,8
<b>San Juan</b>	17,81	18,04	8,02	156,02	158,03	44,05	198,59	236,63	161,57
<b>Tunshi</b>	3,17	2,88	2,71	27,77	25,23	14,89	61,87	61,75	58,74
<b>Urbina</b>	99,67	151,66	121,04	873,11	1328,54	664,87	1235,11	1774,17	1515,18

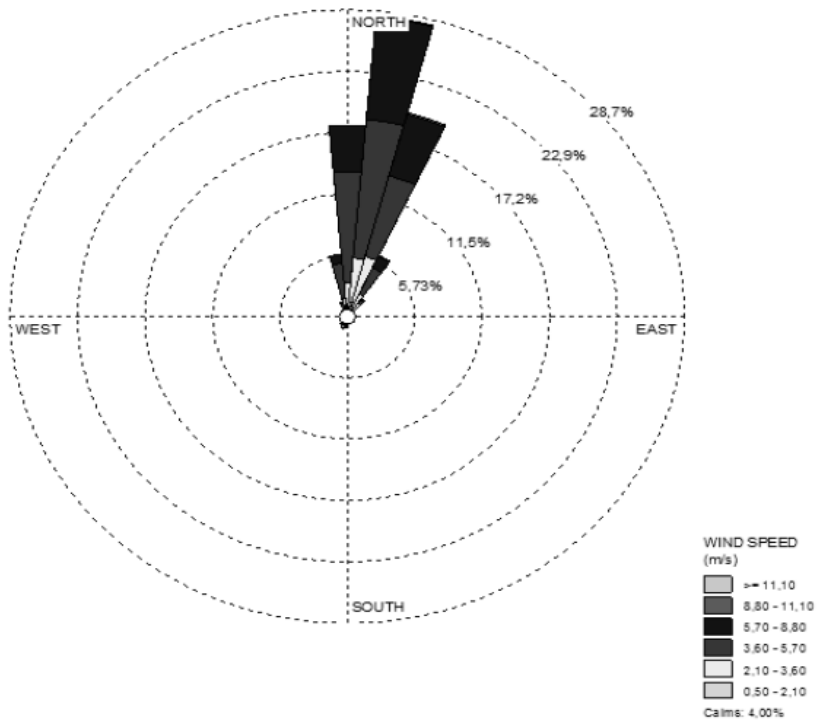
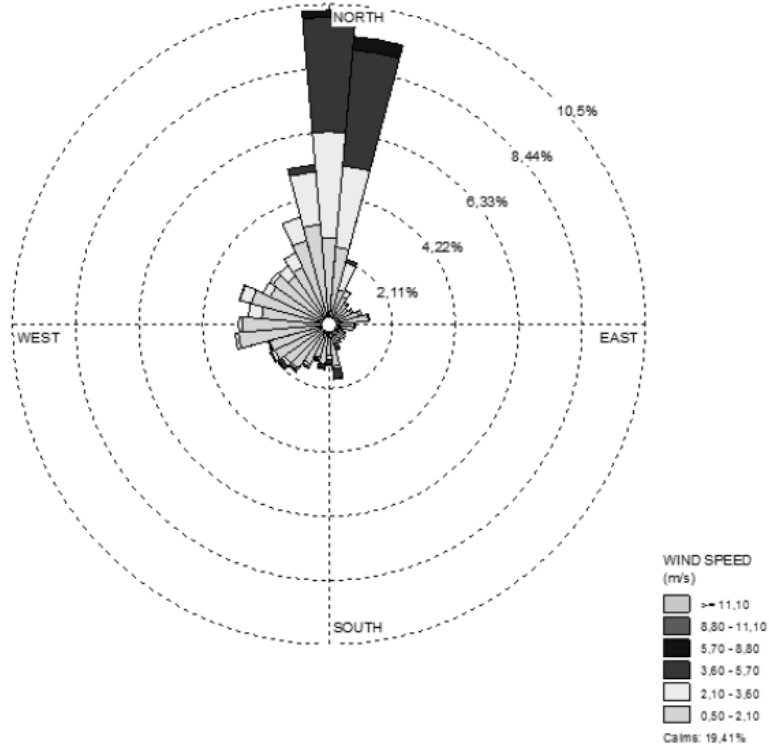
**Representación en la Rosa de los vientos velocidad y dirección del viento**

Tde la misma manera que se representaron los histogramas y distribuciones de Weibull, el esquema de la rosa de los vientos será mostrará para el año 2014.









**Figura 5.**

Rosa de los vientos Atillo, Campus ESPOCH, Matus, Quimiag, San Juan, Tunshi, Urbina. Año 2014.

## Georeferenciación del recurso eólico en el mapa de la provincia de Chimborazo

**Tabla 4.**

Valores de atributos para Arcgis

ID	Latitud	Longitud	Estación	PMSA (kW) 2014	E anual (MWh) 2015	E anual (MWh) 2016	PMSA (kW) 2016	E anual (MWh) 2016
E1	-2,1870061	-78,549289	Atillo	728,26	69,94	612,67	63,91	506,62
E2	-1,655099	-78,678295	ESPOCH	521,41	36,33	318,25	12,46	500,58
E3	-1,5486111	-78,495	Matus	409,38	1,314	11,51	0,86	490,43
E4	-1,656944	-78,569444	Quimiag	7,45	3,51	30,77	3,3034	510,33
E5	-1,632222	-78,7525	San Juan	156,05	18,04	158,04	8,02	521,56
E6	-1,7611111	-78,62916	Tunshi	27,79	2,88	25,21	2,70	550,12
E7	-1,488611	-78,7124	Urbina	873,083	151,65	1328,58	121,04	495,45

### Discusión

Los datos de energía anual extraíble que se presentan en la Tabla 3, tanto para la potencia media de salida, como para la energía anual extraíble como la energía disponible, la estación que mayor recurso dispone es Urbina, seguida por Atillo y luego el Campus-ESPOCH.

Una clasificación por altitud se encuentra: Urbina 3620msnm, Atillo 3446msnm, San Juan 3220 msnm, Tunshi 3083 msnm, Matus 3006 msnm, Campus-ESPOCH 2820 msnm, Quimiag 2725 msnm.

Comparado con el método de distribución de Rayleigh, la distribución de Weibull es más versátil, además, la distribución de Rayleigh es poco fiable en las zonas donde la velocidad media anual no supere los 4.5 m/s y no debe usarse nunca cuando esta velocidad es menor a 3.5 m/s. Por esta razón, en este trabajo investigativo se prefirió desarrollar la metodología del modelo de distribución de Weibull.

Para que el potencial eólico de una zona sea atractivo desde el punto de vista energético, la velocidad media anual deberá ser mayor a los valores mencionados en el párrafo anterior.

Los resultados de las direcciones de viento tienen mucha similitud para cada año en las estaciones, a excepción de Atillo y Campus ESPOCH, en las cuales las direcciones son muy distintas para el año 2014, esto probablemente puede ser un error generado por la instalación de los instrumentos.

### Conclusiones

En general la evaluación de los recursos eólicos de un lugar presenta los siguientes problemas: La necesidad de disponer de medidas de velocidad y dirección del viento durante un período de tiempo suficientemente representativo. Para esta investigación se debe disponer de un historial mínimo de tres años. La variabilidad y aleatoriedad del viento según la estación, día y hora. Los efectos locales tales como la orografía, rugosidad del terreno u obstáculos. La necesaria extrapolación para diferentes alturas respecto al nivel del suelo de las medidas tomadas a una altura determinada, 10 m para el caso de estudio.

La altura de la zona en estudio resultó ser un parámetro muy importante para la determinación de la densidad del aire que interviene directamente en la potencia disponible. La densidad del aire estándar es de 1.225 kg/m<sup>3</sup> que es mayor a la encontrada para las estaciones 0.828 kg/m<sup>3</sup> aproximadamente en todas.

La aleatoriedad del viento, afecta significativamente a la energía eólica extraíble por unidad de área, pequeñas variaciones en la velocidad producen cambios importantes debido a que la potencia varía con el cubo de esa velocidad.

La velocidad promedio del viento es importante para la evaluación de la producción energética y para su cálculo, debe considerarse la media ponderada que considera las diferentes velocidades en relación a sus frecuencias anuales.

Al mantener Energía anual alta Atillo y Urbina son consideradas aptas para una posible creación de un parque eólico, dependerá de ello considerar la accesibilidad de equipos como de vehículos.

### **Agradecimiento**

Un especial agradecimiento al Centro de Investigación en Energías Alternativas y Ambiente de la ESPOCH, por la grandiosa contribución de los datos de velocidad y dirección del viento.

### **Referencias**

Agencia de Regulacion & Control de Electricidad (2016). *Ecuador ama la vida. Estadística del sector eléctrico-producción*. Recuperado de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/produccion/>>.

Balich, Melisa (2015). *Características de la energía eólica*. Recuperado de <http://eeolicacsj.blogspot.com/p/Caracteristicas-de-la-energia-eolica.html>>.

Cruz, Ignacio (2012). *Avances tecnológicos y perspectivas de la energía eólica*. Recuperado de <http://www.eis.uva.es/energiasostenible/wp-content/uploads/2012/09/Avances-tecnol%C3%B3gico-y-erspectivas-de-la-energ%C3%ADa-e%C3%B3lica-2012.pdf>>.

De Toro, J. A. (2011). *Física ambiental aplicada. Grupo G9 de Universidades*. Recuperado de [https://www.uclm.es/profesorado/ajbarbero/faa/eeolica\\_Febrero2012\\_G9.pdf](https://www.uclm.es/profesorado/ajbarbero/faa/eeolica_Febrero2012_G9.pdf)>.

Domínguez, Iria (2016). *Energías alternativas*. Recuperado de [http://www.natureduca.com/energ\\_alternat\\_Eolicaintrod.php](http://www.natureduca.com/energ_alternat_Eolicaintrod.php)>.

Figueroa Bravo, Diego David (2005). *Implementación de proyectos de generación eólica en el Ecuador*. Proyecto Previo a Titulación. (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería. Quito, Ecuador, p. 37

INAMHI (2016). *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*. Recuperado de [http://issuu.com/inamhi/docs/instrumentos\\_met/1?e=0](http://issuu.com/inamhi/docs/instrumentos_met/1?e=0)>.

ITC. (2008) *Energías renovables*. [aut libro] Instituto Tecnológico de Canarias. Energías renovables. Canarias, España.

López, José María Escudero (2008). *Manual de energía eólica*. 2da ed. México, México: Mundi Prensa, 2008, p. 472

Vullarubia López, Miguel (2012). *Ingeniería de la energía eólica*. 1ra Edición. Barcelona, España: Mrcombo 2012, p. 283.

Villarrubia López, Miguel (2004). *Energía eólica energías alternativas y medio ambiente*. Barcelona, España: Grupo Planeta (GBS), p. 328.

Martins, Alejandra. BBC MUNDO (2016) *Cómo Uruguay logró ser el país con mayor porcentaje de energía eólica de América Latina*. Recuperado de <[http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/03/160314\\_UruGuay\\_energia\\_eolica\\_am](http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/03/160314_UruGuay_energia_eolica_am)>.

M.E.E.R. (s.f.) *Ministerio de Electricidad y Energía Renovables*. Villonaco. Recuperado de <http://www.energia.gob.ec/villonaco/>.

Ortíz, Carlos (2005). *La energía eólica, posibilidades y limitaciones*. Recuperado de: <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?ID Articulo=1031>>.

SEMPLADES (2014). *Proyecto Emblemáticos en Galápagos*. Milagro: (1), p. 88.

Socag, Hugo Patricio Huebla (2012). *Estudio de factibilidad para generación eólica en el sector de totorillas-provincia de Chimborazo*. (Tesis de grado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Ingeniería Electrónica, Control y Redes Industriales Riobamba, Ecuador.

Villonaco, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (2015). *Programas / Servicios*. Recuperado de <http://www.energia.gob.ec/villonaco/>

# Efecto de la temperatura en las propiedades termo-físicas de crudos pesados

**Otto Fernando Balseca Sampedro**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
otto.balseca@esPOCH.edu.ec

**Catalina Margarita Verdugo Bernal**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
cverdugo@esPOCH.edu.ec

**Jorge Isaías Caicedo Reyes**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
jorge.caicedo@esPOCH.edu.ec

## Resumen

Ante el continuo avance tecnológico en el proceso extractivista del petróleo como un recurso energético de un país, las compañías han visto la necesidad de mejorar y optimizar estos procesos para obtener un producto de mejor calidad y evitar posibles daños ambientales por consecuencia de un carente estudio hidrodinámico de oleoductos (Alboudwarej et al., 2006). Por tal razón, se propone una simulación del proceso de transporte de crudo pesado con el fin de minimizar impactos ambientales por fallos en su diseño. Esta investigación tuvo como finalidad evaluar el comportamiento de las propiedades termo-físicas de un crudo pesado en estado estacionario, el mismo que fue elaborado como una herramienta para validar el efecto de la temperatura en el cambio de dichas propiedades. El estudio se basó en el análisis del principio de conservación de masa y del principio de conservación de la energía, desarrollándose una ecuación diferencial para el perfil de temperaturas. Una vez conocido el perfil térmico, se desarrollaron subrutinas que calculen cada una de las variables, mediante el software MatLab y graficar su variación en un tramo de oleoducto específico. En conclusión, este estudio permite determinar la variación de las propiedades físico-térmicas de un hidrocarburo pesados cuando varía la temperatura, interpretando el fenómeno de transporte en estado estacionario.

**Palabras claves:** Crudos pesados, Diseño hidrodinámico, Metodología, Oleoducto, Propiedades.

## Abstract

Given the continuous technological progress in the extractive oil process as an energy resource of a country, the companies have seen the need to improve and optimize these processes to obtain a better quality product and avoid possible environmental damages due to a poor study Hydrodynamics of pipelines (Alboudwarej et al., 2006). For this reason, a simulation of the heavy crude transport process is proposed in order to minimize environmental impacts due to design failures. This research aimed to evaluate the behavior of the thermo-physical properties of a heavy crude at steady state, which was developed as a tool to validate the effect of temperature on the change of said properties. The study was based on the analysis of the principle of mass conservation and the principle of conservation of energy, developing a differential equation for the temperature profile. Once the thermal profile was known, subroutines were developed to calculate each of the variables, using MatLab software and plotting its variation in a specific pipeline segment. In conclusion, this study allows to determine the variation of the physical-thermal properties of a heavy hydrocarbon when temperature varies, interpreting the phenomenon of transport in steady state.

**Keywords:** Heavy crudes, Hydrodynamic design, Methodology, Oil pipeline, Properties.

## **Introducción**

### **Introducción al problema**

La problemática presente en nuestro país se basa en la cantidad de extracción de este recurso no renovable, el cuál durante los últimos años ha sufrido un gran cambio en su precio final debido a muchos factores externos, los mismos que han afectado su comercialización (Curtis et al., 2003). Además, el alto precio de la energía y la necesidad de restituir las reservas petroleras han sido motivos suficientes para que muchas compañías estatales y privadas centren su atención en los yacimientos de crudos pesados y extrapesados y de esta manera poder seleccionar la tecnología a utilizar en su proceso extractivo y un entendimiento más detallado de las características físico-térmicas de este fluido (Fahim et al., 2010). En Ecuador, pocos son los estudios existentes del comportamiento de un crudo pesado por influencia térmica, lo que liga esta investigación al estudio del arte ya existente como el complemento ideal de esta problemática. La hipótesis planteada hace referencia a que, un crudo pesado pierde rápidamente energía térmica a través del espesor de pared de tubería, aunque se encuentre aislada y ello se refleja en cambios bruscos de viscosidad puntualmente, lo cual dificulta el transporte a través de oleoductos e implica un gasto energético mayor el momento de su transporte. Los objetivos que busca esta investigación son de proporcionar detalles de la variación de las propiedades de un crudo pesado por influjo térmico enlazados con la dinámica de fluidos. Por tanto, la hipótesis planteada se relaciona directamente con la investigación mediante el análisis hidrodinámico de un fluido altamente viscoso cuando es transportado por una red de oleoductos mediante el estudio de las ecuaciones de la conservación de energía y cantidad de movimiento. Determinando de esta manera un análisis exhaustivo de la variación de sus propiedades.

### **Importancia del problema**

La problemática que tratar de resolver esta investigación, tiene una gran repercusión en la economía de un país, el cuál invierte anualmente millones de dólares en un proceso extractivista mucho más eficiente que garantice una mejor calidad del hidrocarburo con una gran responsabilidad ambiental. Al llegar a comprender de mejor manera el comportamiento de un crudo pesado, más efectivo representa el diseño hidrodinámico de una red hidrocarburífera basado en el análisis dinámico del fluido de estudio. Ello conlleva a un uso más eficiente de la energía utilizada en el transporte de crudos pesados y minimizar posibles afectaciones ambientales por fallas en el diseño de oleoductos con consecuencias catastróficas irreversibles. El contenido de la presente investigación brinda una idea clara del comportamiento de un hidrocarburo pesado cuando es sometido a variación térmica, sirviendo como modelo a futuras investigaciones.

### **Metodología**

La presente investigación fue aplicada en una red de oleoductos conocida en nuestro país como es OCP (Oleoducto de Crudos Pesados). La principal herramienta que se utilizó para la modelación hidrodinámica fue el software MatLab, en cuál fue capaz de simular el comportamiento de las variables físico-térmicas que constituyen un hidrocarburo pesado.

El diseño utilizado en la investigación fue de tipo no experimental-descriptivo y transversal, dividido en dos fases como se mencionó con la extracción de información primaria utilizando el método no experimental para el desarrollo de subrutinas y códigos de programación método transversal que sirvió para interacción de varias ramas como la transferencia de calor, mecánica de fluidos, matemáticas y más (Gottfried, 1965).

Además, se utilizó información secundaria como: revisión, análisis y síntesis de estudios similares en diseño de oleoductos así información interna proporcionada por la empresa OCP para comparación de resultados. El marco teórico que caracteriza esta investigación se detalla a continuación:

**Perfil de temperatura:** Ejemplifica el comportamiento de un fluido en un tramo de longitud determinado al cual denominaremos ( $\Delta L$ ) está definido por la siguiente expresión:

$$T_{(K+1)} = \frac{C_K}{A_K} + \left( T(k) - \frac{C_K}{A_K} \right) e^{-A_k \Delta L_k} \quad (1)$$

Sabiendo que:

- $A_K = \frac{U * \pi * D}{C_p * \rho * Q}$
- $C_K = \frac{1}{C_p} * \frac{f}{D^5} * \frac{8 * Q^2}{g * \pi^2}$

Donde:

$$T_{(K+1)} = \text{Temperatura al final del tramo } \Delta L$$

$$T_{(K)} = \text{Temperatura al inicio del tramo } \Delta L$$

La ecuación (1) parte del análisis de la ecuación General de la Energía en donde se reduce a su máxima expresión mediante la aplicación de Transformadas de Laplace, llegándose a determinar el valor de la temperatura para cada ( $\Delta L$ ) de longitud de tubería.

**Calor específico:** (Gambill, 1957) plantea una ecuación que permite cuantificar el calor específico de un líquido en función de su temperatura:

$$C_p = \frac{0,388 + 0,00045 T}{\sqrt{SG}} \quad (2)$$

Donde:

$C_p$ : Calor específico,  $\left[ \frac{BTU}{libra * ^\circ F} \right]$

$SG$ : Gravedad específica, adimensional

$T$ : Temperatura,  $^\circ F$

**Conductividad térmica:** Según (Cragoe, 1993) la ecuación que permite calcular la conductividad térmica de líquidos en función a su temperatura es la siguiente:

$$K_h = \frac{0,0677[1 - 0,0003(T - 32)]}{\sqrt{SG}} \quad (3)$$

Donde:

$K_h$ : Conductividad térmica,  $\left[ \frac{BTU}{h * pie * ^\circ F} \right]$

$T$ : Temperatura,  $^\circ F$

$SG$ : Gravedad específica, adimensional

**Número de Nusselt:** Çengel, 2007) plantea una ecuación del número promedio de Nusselt para una región de entrada laminar expresada por la siguiente expresión:

$$Nu = 3,66 + \frac{0,065(D/L)RePr}{1 + 0,04[(D/L)RePr]^{2/3}} \quad (4)$$

Dónde:

D: Diámetro interior de la tubería, m

L: Longitud de la tubería, m

Re: Número de Reynolds, adimensional

Pr: Número de Prandtl, adimensional.

**Densidad:** La densidad de un crudo pesado se calcula mediante la siguiente expresión:

$$SG = \frac{141,5}{API + 131,5} \quad (5)$$

Si:  $\rho_{asc} = 1\,000 * SG$

$$\rho_{o1} = \rho_{asc} * \frac{1}{1 + \frac{T_1^{\circ}F - 68}{1\,885}} \quad (6)$$

$$\rho_{o2} = \rho_{asc} * \frac{1}{1 + \frac{T_2^{\circ}F - 68}{1\,885}} \quad (7)$$

Donde:

$$\rho_o = \frac{\rho_{o1} + \rho_{o2}}{2} \quad (8)$$

**Número de Reynolds:** El cálculo del número de Reynolds se lo expresa de la siguiente forma (Mott, 2006).

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{VD}{\gamma} \quad (9)$$

Donde:

$\rho$ : Densidad,  $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

$V$ : Velocidad del fluido,  $\left[\frac{m}{s}\right]$

$D$ : Diámetro de tubería,  $[m]$

$\mu$ : Viscosidad dinámica  $\left[\frac{Kg}{m * s}\right]$

$\gamma$ : Viscosidad cinemática  $\left[\frac{m^2}{s}\right]$

**Coefficiente Global:** El coeficiente Global de transferencia de calor se rige a la siguiente expresión:

$$U_{TOTAL} = \frac{1}{A \cdot \Sigma_{RTOTAL}} \quad (10)$$

Donde:

$$\Sigma_{RTOTAL} = R_1 + R_2 + R_3$$

$A$ : Área de transferencia de calor  $[m^2]$



Además:

- Resistencia de calor de convección.

$$R1 = \frac{1}{h_1 A_1} = \frac{1}{h_1 2\pi r_1 L} \quad (11)$$

- Resistencia de calor por conducción, K1 = conductividad del acero.

$$R2 = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi K_1 L} \quad (12)$$

- Resistencia de calor de conducción, K2 = conductividad de la tierra.

$$R3 = \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi K_2 L} \quad (13)$$

**Viscosidad dinámica:** La ecuación de Andrade es la empleada para caracterizar la viscosidad dinámica de un crudo pesado, la expresión se detalla a continuación:

$$\ln \mu = \ln a + \frac{b}{T} \quad (14)$$

**Factor de fricción:** Para el cálculo del factor de fricción se basa el análisis en la ecuación de Colebrook, la cual se expresa a continuación:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0,8 \ln\left(\frac{\left(\frac{\epsilon}{D}\right)}{3,7}\right) + \frac{2,51}{\left(Re * f^{\frac{1}{2}}\right)} \quad (15)$$

**Coefficiente de convección:** El análisis de este parámetro hace referencia a la convección de calor en superficies interiores (Çengel, 2007). Para ello es importante considerar que:

1. Para flujo laminar ( $Re < 10\,000$ )
  - a. Capa límite térmica =  $0,05 Re Pr D$
  - b.  $Nu = 3,66$

$$h = \frac{Nu * K_f}{D_h} \quad (16)$$

Donde:

$h$ : Coeficiente de convección,  $\left[\frac{W}{m^2 \cdot C}\right]$

$Nu$ : Número de Nusselt, adimensional

$K_f$ : Conductividad térmica,  $\left[\frac{W}{m \cdot C}\right]$

$D_h$ : Diámetro hidráulico, [m]

$$D_h = \frac{4 * Area}{Perímetro} \quad (17)$$

Si se considera como una tubería rugosa:

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) (Re * Pr)}{1,07 + 12,7 \left(\frac{f}{8}\right)^{1/2} (Pr^{2/3} - 1)} \left(\frac{u_b}{u_s}\right)^n \quad (18)$$

Siendo:

$$Tf = T_{superficie} + \frac{T1 + T2}{2}$$

$n = 0,11$  para  $T_s > T_b$

$$n = 0,25 \text{ para } T_s < T_b$$

$$n = 0 \text{ para flujo constante o gases}$$

2. Para  $Re > 10\,000$

$$Nu = \frac{h_{conv} D_{int}}{K_{crudo}} = 0,023 Re^{0.8} Pr^n \quad (19)$$

Donde:

$$n = 0,4 \text{ calentamiento del fluido}$$

$$n = 0,3 \text{ enfriamiento del fluido}$$

$$Pr = \frac{U_{crudo} C_p \rho_{crudo}}{K_{crudo}} \quad (20)$$

$$Re = \frac{\tau_{crudo} V_{crudo} D_{crudo}}{U_{crudo}} \quad (21)$$

Estas correlaciones se cumplen cuando el número de Prandtl en el rango:

$$0,7 < Pr < 100$$

## Resultados

Los resultados obtenidos del planteamiento del problema se basan específicamente en el comportamiento de las variables del crudo pesado cuando ha variado la temperatura a lo largo de la longitud de tubería. Para tal efecto se ha evaluado cada variable por separado mostrando su gráfica resultante.

Las variables de análisis se resolvieron mediante ecuaciones diferenciales evaluadas cada metro de longitud de tubería, simulándose con la ayuda del software MatLab. Entre otras consideraciones que se deben tener en cuenta para el desarrollo de la variación de las propiedades de crudos pesados es que, al enterrar la tubería un radio aproximado de 3 veces el diámetro externo, se evita el influjo de la convección externa del aire, considerándose como única convección la interna por el fluido (crudo pesado). Adicionalmente, no se consideraron variaciones del espesor de pared de tubería a lo largo del tramo. Los datos de características de tubería y condiciones iniciales del fluido se detallan a continuación en las Tablas 1 y 2.

**Tabla 1.** Datos iniciales del fluido

Parámetro	Valor	Unidad
Temperatura de inicio del fluido	60	[°C]
Temperatura del ambiente externo	15	[°C]
° API Crudo	18	[°API]
Viscosidad dinámica 1 del fluido	1700	[Cp]
Viscosidad dinámica 2 del fluido	180	[Cp]
Temperatura del fluido a viscosidad dinámica 1	15,5	[°C]
Temperatura del fluido a viscosidad dinámica 2	93,3	[°C]

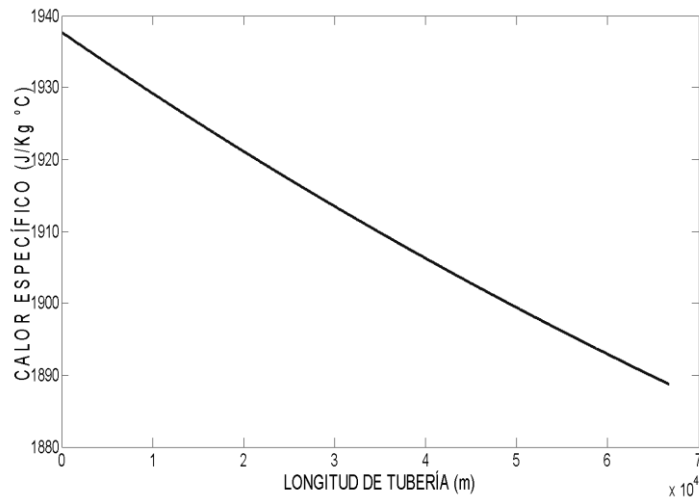
**Tabla 2.** Datos iniciales de la tubería

Parámetro	Valor	Unidad
Radio interno de tubería	0,396875	[m]
Radio externo de tubería	0,406527	[m]
Longitud del tramo	66770	[m]
Rugosidad	0.00001	adimensional
Conductividad térmica del acero	65	[W/m°C]
Conductividad térmica de la tierra	2,8	[W/m°C]
Radio de enterrado de tubería	1,219581	[m]

A continuación, se representan los diferentes valores de las propiedades del fluido por cada metro de longitud de tubería.

### Calor específico (Cpx)

El calor específico se calcula mediante la fórmula (9) ingresado en el código de programación respectivo; la gráfica resultante se visualiza en la Figura 1.1:

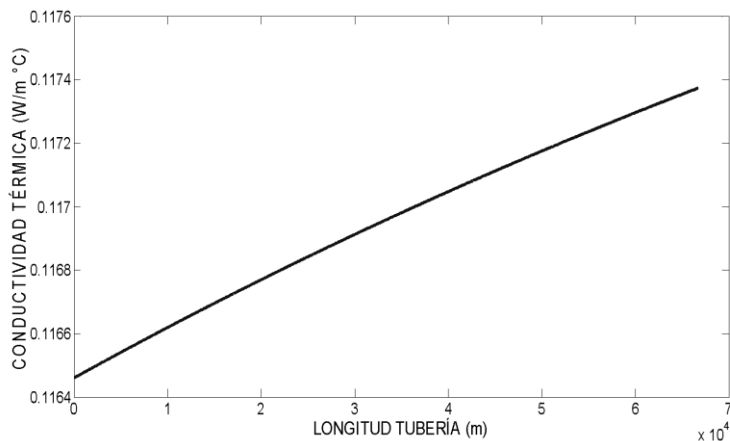


**Figura 1.**  
Calor específico

Al considerar el calor específico de un crudo pesado como una relación directa a la temperatura, se evidencia la disminución de esta propiedad cuando disminuye el gradiente a temperatura a lo largo del tramo de análisis. Por tanto, la gráfica mostrada en la figura 1.1 evidencia el cambio en el calor específico de una relación casi lineal ya que no se considera perturbaciones por efectos de transitorios ya que es un análisis en estado estable.

### Conductividad térmica fluido (Kfx)

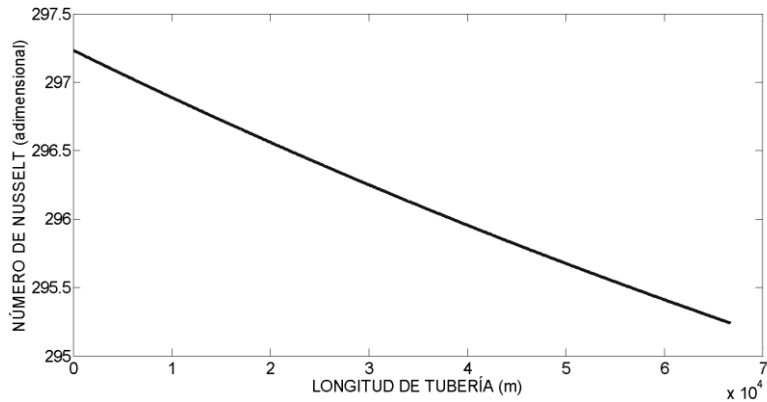
La conductividad térmica del crudo pesado se calcula mediante la fórmula (8) ingresado en el código de programación respectivo; la gráfica resultante se visualiza en la Figura 2.



**Figura 2.**  
Conductividad Térmica

La conductividad térmica es una propiedad muy sensible a la variación térmica, su relación es inversamente proporcional a la temperatura, por ello, cuando disminuye la temperatura, el valor de la conductividad aumenta a medida que se desplaza por la longitud de tramo de análisis. La gráfica resultante se asemeja a lineal ya que no se consideran las perturbaciones provocadas por efectos de fricción y transientes.

### Número de Nusselt (Nux)



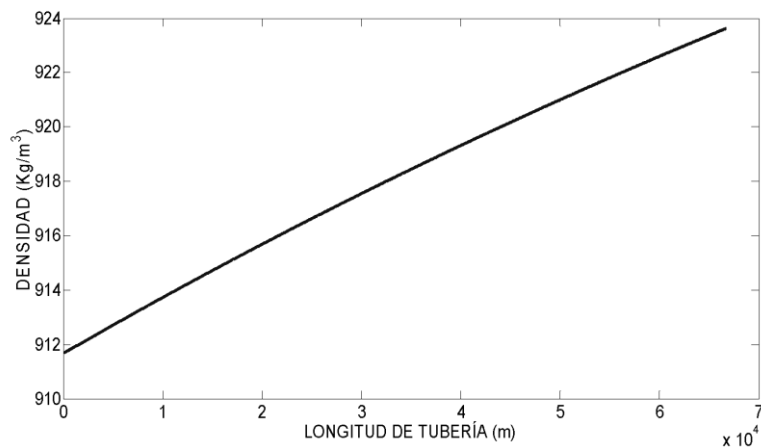
**Figura 3.**  
Número de Nusselt

El Número de Nusselt del crudo pesado se calcula mediante la fórmula (11) ingresado en el código de programación respectivo; la gráfica resultante se visualiza en la Figura 3.

En la figura 3, se percibe una leve disminución en el valor del Número de Nusselt debido a su relación directa con dos parámetros adimensionales como son Reynolds y Prandtl. Estos parámetros provocan un cambio en su valor a medida que se desplaza por el tramo de tubería.

### Densidad (Rox)

La densidad del crudo pesado se calcula mediante las fórmulas (3 y 4) ingresada en el código de programación respectivo; la gráfica resultante se visualiza en la Figura 4.



**Figura 4.**  
Densidad del crudo

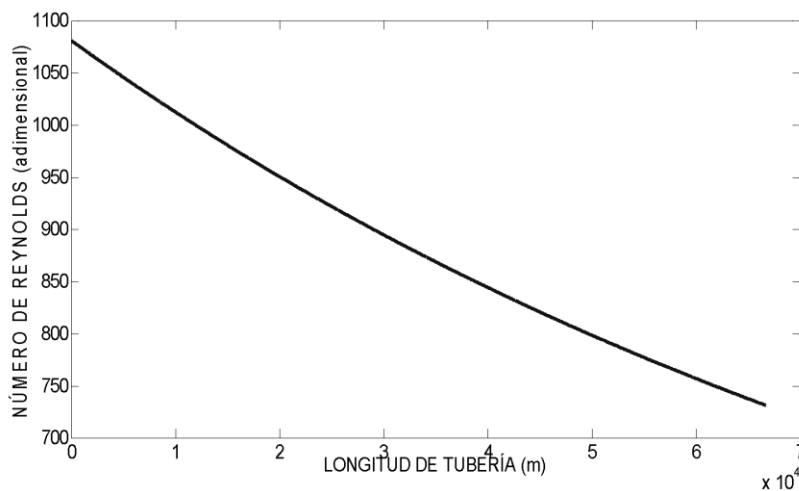
La densidad es una relación inversamente proporcional a la temperatura, por lo que es el parámetro de mayor importancia a controlar el momento de transportar un fluido a través de un ducto.

Para el ejemplo mostrado en la figura 4, se aprecia un incremento en esta propiedad a medida que la temperatura disminuye. Su relación es casi lineal sin considerar perturbaciones por efectos de fricción y transientes presentes en el transporte de fluidos.

El monitoreo de esta propiedad permite identificar la instalación de estaciones de calentamiento para reducir pérdidas por efectos de fricción y tener un mejor control en el bombeo del crudo pesado.

### Número de Reynolds (Rex)

El Número de Reynolds se calcula mediante la fórmula (51) ingresada en el código de programación respectivo; la gráfica resultante se visualiza en la Figura 5.



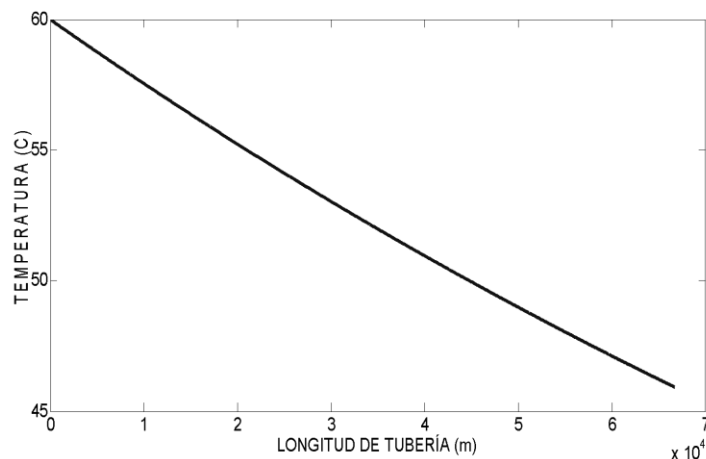
**Figura 5.**  
Número de Reynolds

La figura 5 muestra el cambio del parámetro adimensional del Número de Reynolds el cual guarda un estrecho vínculo con la velocidad del transporte, densidad, área transversal y viscosidad dinámica del crudo pesado. Al considerar que las propiedades antes mencionadas se ven afectadas por el cambio térmico, se obtiene como resultado la disminución de este parámetro.

De igual forma no se consideran efectos de perturbación por acción de la fricción y transientes en el transporte del crudo pesado.

### Perfil de temperatura (Ltubx vs Tx)

El perfil de temperaturas del crudo pesado se calcula mediante la fórmula (1) ingresadas en el código de programación respectivo y su gráfica resultante se visualiza en la Figura 6 (Palacios, 2008).



**Figura 6.**  
Perfil de temperaturas

La figura 6 muestra explícitamente la pérdida de energía térmica de un crudo pesado por efectos de transferencia calórica con el medio externo. Al enunciar que las propiedades de este fluido guardan una relación estrecha con el gradiente térmico, es de fundamental importancia controlar este parámetro. En la codificación de programación se controla que la temperatura del crudo pesado no disminuya de los 30°C, ya que para valor menores a este, los valores de viscosidad y densidad se tornan críticos y dificultan el transporte del hidrocarburo; por tal razón, al marcar este valor numérico de temperatura, automáticamente se eleva sus condiciones iniciales de bombeo (60°C) y por ende que en esta coordenada de longitud se recomienda situar una estación de calentamiento para mejorar todas las propiedades del hidrocarburo.

### Discusión

Como se observa en los resultados obtenidos, existe una clara dependencia de las propiedades termo-físicas de un crudo pesado con el gradiente de temperatura del fluido, lo cual sustenta la hipótesis planteada en este estudio investigativo, permitiendo interpretar el fenómeno de transporte de un crudo pesado en estado estacionario de un perfil de un oleoducto específico y también determinar los cambios en las propiedades cuando la temperatura varía a lo largo del tramo de análisis.

Las consideraciones establecidas para el desarrollo de las ecuaciones en estado estable, representan una aproximación muy cercana al comportamiento del crudo pesado en estado transitorio, por lo cual se puede considerar como una línea base para el estudio del fenómeno de transporte. Por tanto, esta investigación puede considerarse como un cálculo preliminar de un modelo hidrodinámico de un crudo pesado.

Las gráficas resultantes del análisis de propiedades de un crudo pesado, tienden a un modelo lineal debido a la relación directa o indirecta con su temperatura y no presentan distorsiones debido a no considerarse los efectos transientes o vibraciones en el oleoducto, ocurridos por el movimiento del fluido en cambios de secciones o fenómenos similares.

Las propiedades de los crudos pesados son altamente dependientes de la temperatura, por ello se evidencia cambios sustanciales en sus magnitudes cuando disminuye o aumenta su energía térmica, de igual forma, al

analizar la variación de las propiedades en cada metro de longitud, ha permitido captar sus cambios de una manera más perceptible.

Se evidencia en los resultados obtenidos, que el régimen de transporte del hidrocarburo pesado es en estado laminar, no llegando a ser turbulento durante su transporte. Esto representará una ventaja al momento de considerar las pérdidas por fricción en las paredes de la tubería, ya que ellas están estrechamente relacionadas con la velocidad de transporte de un hidrocarburo.

Al efectuar el análisis del Número de Reynolds en el cual se genera el transporte del crudo pesado se concluye que su régimen es laminar, por lo tanto, el intercambio de energía térmica con el medio externo disminuye por el hecho que, a menor velocidad de transporte, menor es el consumo energético. Este fenómeno es claramente explicado en la convección forzada en superficies interiores.

El análisis de la viscosidad dinámica permitió identificar la alta sensibilidad de esta propiedad con su temperatura, por ello, el monitoreo permanente de este parámetro será de gran utilidad al momento de minimizar pérdidas por fricción hidrodinámica el momento de su transporte. Esto permitirá situar estratégicamente estaciones de calentamiento a lo largo de la longitud del oleoducto, para evitar el incremento de la magnitud.

El análisis del coeficiente global de transferencia de calor relaciona las resistencias térmicas existentes el circuito. Al considerar el oleoducto enterrado una profundidad aproximada de tres veces su radio externo ha permitido la conservación de su energía térmica, minimizando al máximo la colocación de estaciones de calentamiento durante toda la longitud del oleoducto.

Al limitar la temperatura mínima alcanzada por el crudo pesado a 30°C, ha permitido controlar que la viscosidad dinámica no disminuya de 0,4 kg/m s, lo cual evitará generar pérdidas excesivas por fricción el momento de su transporte.

Entre las recomendaciones más relevantes de este proyecto se destaca, el considerar el estudio del transporte de un crudo pesado en estado transitorio, lo cual garantizará obtener parámetros más cercanos a la realidad ya que se evaluaría como cambian las propiedades con respecto al tiempo y la parametrización de perturbaciones por efectos de transientes presentes en el transporte.

Es de mucha importancia para el estudio térmico de un fluido, el considerar los cambios de temperatura ambiente que están presentes al largo del oleoducto, ya que permitirá percibir cambios mínimos en las propiedades del crudo pesado, sabiendo que para este estudio se consideró como temperatura ambiente constante para el tramo total de oleoducto.

### **Agradecimiento**

Un extensivo agradecimiento a la empresa OCP por brindarnos el apoyo pertinente en la ejecución de este trabajo investigativo, la cual servirá como base para futuras investigaciones relacionadas al comportamiento de crudos pesados.

### **Referencias**

Alboudwarej, H., Felix, J. J., Taylor, S., Badry, R., Bremner, C., Brough, B., & Beshry, M. (2006). La importancia del petróleo pesado. *Oilfield Review*, 18, pp.38-59.

- Cengel, Y. & Ghajar, A. (2007). *Transferencia de calor y masa* (3a ed.). México D.F, México: McGraw-Hill Interamericana
- Cragoe, C. S. (1993). *Changes in the viscosity of liquids with temperature, pressure and composition*. Prod. World Pet Congress.
- Curtis, C., Kopper, R., Decoster, E., Guzmán-García, A., Huggins, C., Knauer, L., & Waite, M. (2003). Yacimientos de petróleo pesado. *Oilfield Review*, II, 23.
- Fahim, M., Alshahaf, T., & Elkilani, A. (2010). *Fundamentals of Petroleum Refining*. Oxford: Elsevier Science.
- Gambill, W.R. (1957). *You can predict heat capacities*, *Chemical Engineering*.
- Gottfried, B.S. (1965). *Mathematical model of thermal oil recovery in linear systems*. SPE J.
- Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos* .6a ed., México, México: Pearson.
- Palacios, F. (2008). *Resolución aproximada de ecuaciones: Método de Newton-Raphson*. Universidad Politécnica de Catalunya.



# El sistema de gestión ISO 50001 como aporte para la obtención de ahorro energético

**Edwin Ángel Jácome Domínguez**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
angel891611@hotmail.com

**Pablo Sinchiguano**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
pablosin2000@gmail.com

**Lenin Santiago Orozco Cantos**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
leninomega6@hotmail.com

## Resumen

El objeto de este estudio parte de la implementación de un sistema de gestión energética según ISO 5001, con la finalidad de disminuir del consumo de energía eléctrica, energía térmica, agua y combustible; sin afectar a la producción e instalaciones en una de las empresas mas representativas de la ciudad de Riobamba, con lo cual se obtuvo un ahorro del consumo energético y reducción del impacto ambiental. Mediante un diagnóstico inicial se determinó que la empresa cumplía con el 13% de los requisitos establecidos por la norma, posteriormente se estableció la planificación energética, la línea de base energética, los indicadores de desempeño energético, objetivos, metas y planes de acción requeridos. A partir de estos parámetros se diseñó el manual del sistema de gestión de la energía propio para la organización. Con un análisis final de evaluación se da a conocer el porcentaje de implementación realizado en la organización intervenida, en la cual se cumple con un 71% de los requisitos establecidos por la norma y a través de esto, se establecen diferentes propuestas de mejoras con criterios técnicos y de calidad para las actividades a realizarse y con lo cual se garantiza la sostenibilidad del sistema de gestión energética implementado.

**Palabras claves:** Sistema de gestión energética, Norma ISO 50001.

## Abstract

This research has as aim to implement an energy management system based on the ISO 50001 standard, in order to reduce and improve electricity consumption, heat energy, water and fuel; without affecting the production and organization lodgings, obtaining substantial savings in energy consumption and will be less environmental impact. Through an initial diagnostic it is determined that the company complies with 13% of the standard established requirements, after that the energy planning for the organization was established in which stands the links establishment, limits, energetic policy, energetic baseline, energetic performance indicators, objectives, goals and action plans for that company. From these parameters the manual of the energy management system that belongs to the organization was designed. With a final assessment analysis the percentage of implementation carried out in the interfered organization is given to know, which meets 71% of the standard requirements, and through these different proposals for improvements are established technical criteria quality to all activities carries out within the company and thus the sustainability of the energy management system implemented are guaranteed.

**Keywords:** Energy management system, ISO 50001 standard

## Introducción

El presente trabajo se desarrolló en la empresa “La Ibérica Cía. Ltda.” de la ciudad de Riobamba que se ha mantenido a lo largo de estos 95 años produciendo embutidos de calidad y en estos últimos 10 años ha consolidado su marca siendo al momento sus productos distribuidos a nivel nacional.

Siendo así han tratado de mantenerse en un proceso de mejoramiento referente a la tecnología y equipamiento, en los últimos 5 años han renovado gran parte de la maquinaria existente, de preferencia de origen alemán y a futuro construir una nueva planta industrial con requerimientos tanto ecológicos como tecnológicos. Con estos antecedentes la empresa requiere la implementación de un sistema de gestión energética (SGEn) basado en la norma ISO 50001:2012 con el cual se ayudará a aminorar el impacto ambiental de la misma y volverla más eficiente energéticamente.

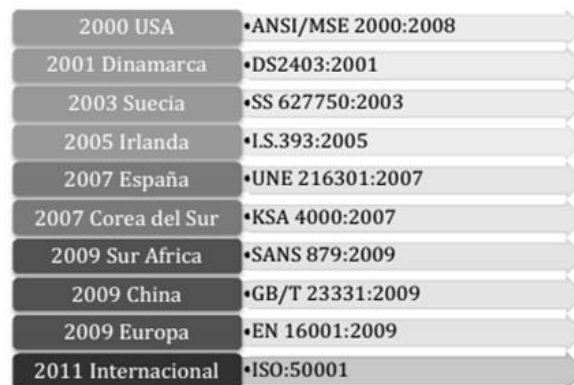
La ISO 50001 se basa en elementos comunes de las normas de sistemas de gestión ISO, lo que garantiza un alto nivel de compatibilidad con otros estándares, como ISO 90001 e ISO 14001. Concretamente, la norma ISO 50001 puede ayudar a las empresas a implementar los procesos necesarios para la comprensión del uso de energía base, ejecutar los planes de acción, las metas y los indicadores de rendimiento de energía para reducir el consumo, identificar y priorizar oportunidades sin precedentes para mejorar el rendimiento de la energía. (Establishing an integration-energy-practice model for improving energy performance indicators in ISO 50001 energy, Diciembre 1, 2012)

## Gestión Energética

“Gestión de la energía específicamente enlaza y se refiere al uso de energía para la producción de salida, destinada a lograr el nivel requerido de desempeño con el mínimo consumo de energía y otros recursos. La gestión energética implementa una política energética, fija metas y expectativas, establece un sistema de supervisión del desempeño energético y pone en práctica los procedimientos de mejora continua. La mejora en el desempeño se reflejará directamente como el aumento de beneficios de una empresa” (Zoran K, 2008).

## Características generales de los estándares de un SGEn

Los estándares para implementar el SGEn presentados en la Figura 1, se basan en el típico "Planificar-Hacer-Verificar-Actuar" (PHVA) e incluyen requisitos para el establecimiento de una política energética con objetivos concretos, poniendo en marcha medidas para reducir y controlar el uso de energía, el seguimiento de ahorro de energía (internamente) y mejoras de planificación (Romero, 2013).

El diagrama muestra una lista de estándares de gestión energética (SGEn) organizados en una columna vertical. Cada entrada consiste en un recuadro gris con el año y el país/entidad, y una flecha gris que apunta a la derecha con el código del estándar. Las entradas son: 2000 USA (ANSI/MSE 2000:2008), 2001 Dinamarca (DS2403:2001), 2003 Suecia (SS 627750:2003), 2005 Irlanda (I.S.393:2005), 2007 España (UNE 216301:2007), 2007 Corea del Sur (KSA 4000:2007), 2009 Sur Africa (SANS 879:2009), 2009 China (GB/T 23331:2009), 2009 Europa (EN 16001:2009) y 2011 Internacional (ISO:50001).

2000 USA	•ANSI/MSE 2000:2008
2001 Dinamarca	•DS2403:2001
2003 Suecia	•SS 627750:2003
2005 Irlanda	•I.S.393:2005
2007 España	•UNE 216301:2007
2007 Corea del Sur	•KSA 4000:2007
2009 Sur Africa	•SANS 879:2009
2009 China	•GB/T 23331:2009
2009 Europa	•EN 16001:2009
2011 Internacional	•ISO:50001

**Figura 1.**

Estándares de un SGEn

## **Eficiencia energética**

Basado en las políticas del MEER trata sobre el conjunto de acciones, en ejecución y planificadas, tendientes a optimizar los recursos energéticos renovables y consumir la menor cantidad posible de energía para realizar un proceso determinado, sin disminuir las prestaciones o la calidad final del producto, y con el menor impacto sobre el medio ambiente. (CONELEC, 2013).

## **Objetivo de la eficiencia energética**

La eficiencia energética tendrá como objetivo general la obtención de un mismo servicio o producto con el menor consumo de energía. En particular, los siguientes:

- a) Fomentar la eficiencia en la economía y en la sociedad en general, y en particular en el sistema eléctrico.
- b) Promover valores y conductas orientados al empleo racional de los recursos energéticos, priorizando el uso de energías renovables.
- c) Propiciar la utilización racional de la energía eléctrica por parte de los consumidores o usuarios finales.
- d) Incentivar la reducción de costos de producción a través del uso eficiente de la energía, para promover la competitividad.
- e) Disminuir el consumo de combustibles fósiles.
- f) Orientar y defender los derechos del consumidor o usuario final.
- g) Disminuir los impactos ambientales con el manejo sustentable del sistema energético.

El mismo que se encargará de promocionar a la eficiencia energética a través del MEER, promoverá la eficiencia energética mediante incentivos o castigos, que se definirán en el reglamento general de esta ley, y las regulaciones correspondientes. Y donde las políticas y lineamientos dicen incentivar el uso eficiente y el ahorro de energía, sin afectar

## **Importancia del problema**

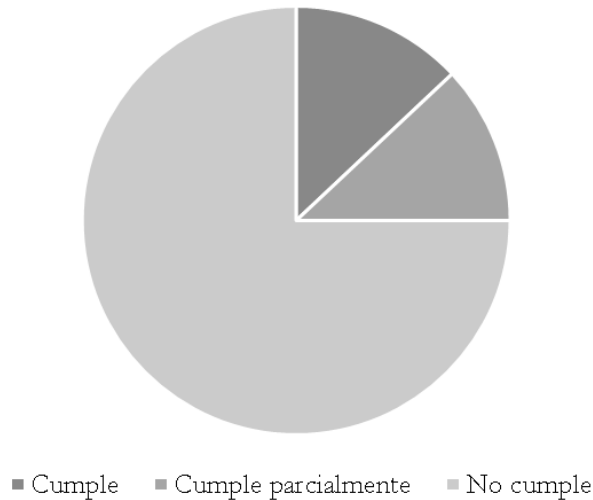
La normativa nacional vigente para el sector eléctrico ecuatoriano está conformada por leyes, mandatos, reglamentos, regulaciones y resoluciones en función de esta normativa, se pretende enumerar todo un conjunto de artículos de gran importancia, considerados dentro de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico (LRSE), los mandatos o decretos ejecutivos, los acuerdos ministeriales, los reglamentos y regulaciones emitidos por el CONELEC, representante del estado ecuatoriano como persona jurídica y que ejerce todas las actividades de control y regulación en conformidad al Art. 13 de la LRSE. (Factibilidad de la norma ISO 50001 en la Central Hidroeléctrica "Carlos Morán Carrión", 2013). Es necesario vincular al sector energético con el ambiental con el objetivo de diseñar políticas energéticas que promueven un desarrollo sostenible de los sectores energéticos, en los últimos años las emisiones de gases de efecto invernadero ascendieron a 46,3 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes (45,9 millones de CO<sub>2</sub>, 0,16 de N<sub>2</sub>O y 0,2 de CH<sub>4</sub>), por lo que es necesario implementar sistemas de gestión energética en las diferentes empresas del Ecuador

## **Metodología**

### **Análisis inicial de diagnóstico de la norma ISO 50001**

Para la realización de esta investigación se hizo el análisis inicial de diagnóstico de la norma ISO 50001, que consiste en observar cuanto es el porcentaje de requerimientos con los cuales cumple la empresa al momento de la inicialización del trabajo, obteniendo los siguientes resultados:

### Total del SGEN Inicial



**Figura 2.**

Cumplimiento general del análisis inicial de diagnóstico

A la terminación del estudio de todas las etapas del análisis inicial de diagnóstico y a través del diagrama resultante se puede mencionar que en la empresa se cumple en su totalidad solo con un 13% de los requisitos solicitados por la norma ISO 50001 para su adecuada implementación, un 12% de cumplimiento parcial y un 75% de no cumplimiento dentro de la organización, con lo cual con estos referentes se puede tener una idea de cómo se está manejando actualmente la empresa y mediante este análisis se puede dar ejecución a la implementación del SGEN, en el cual se desea obtener el mayor cumplimiento de los requisitos establecidos por dicha norma.

#### **Planificación energética**

En esta etapa se desarrolló todo el ítem 4.4 de la norma ISO 50001:2012 previo a la implementación del SGEN en la empresa. Esta etapa de la norma es clave en el proceso de gestión energética para la empresa, ya que mediante esta se han determinado todas las actividades que se desean ejecutar para el mejoramiento del desempeño energético de sus procesos de elaboración.

#### **Establecimiento del plan de implementación del SGEN**

Para esto se estableció un cronograma de actividades para la implantación de la norma ISO 50001, al igual que se realizó un plan de implementación del SGEN de una manera más detallada, donde se dan las fechas de realización, quienes son las personas responsables de cada actividad y las distintas tareas a realizar.

#### **Revisión energética**

En esta etapa se realizó la recolección de los datos necesarios para con un posterior análisis de los mismos poder tener una caracterización clara y efectiva de la situación energética de la organización, estos datos son de uso y consumo de energía, ya sean pasados o presentes, mediante los cuales podremos identificar los usos significativos de energía (USE) y también las oportunidades de ahorro para mejorar el desempeño energético de la empresa.

### **Línea base energética**

La línea base energética de la organización es la que presenta el comportamiento que tiene en la actualidad la empresa y es la que actúa como referencia al momento de implementar el SGE y las distintas oportunidades de mejora con lo cual se pueden cuantificar los impactos que esto traerá al desempeño energético de la organización, la ecuación de la línea base es:

$$E=0,1614(P)+12614$$

Dónde:

E= Consumo de energía en ese periodo

P= Producción asociada a ese periodo

m= Razón de cambio medio del consumo energético respecto a la producción

E<sub>nap</sub>= Energía no asociada a la producción

### **Indicadores de desempeño energético (IDEn)**

Principalmente los IDEn para la empresa son los relacionados con los USE antes establecidos para la organización, se realizó una lista de indicadores que se pueden ir integrando en el transcurso de los diferentes procesos que se realicen en la empresa relacionados a la gestión energética. Se debe mencionar que los IDEn de la empresa pueden cambiarse, aumentarse o suprimirse dependiendo de las necesidades de la misma o teniendo en cuenta si existen otros factores relevantes a tomar en cuenta, pero esto se lo estudió por el equipo del SGE de la organización después de realizar las auditorías del caso y dar a conocer las necesidades de cambio, anomalías, correcciones y no conformidades que el sistema pueda presentar.

### **Objetivos, metas y planes de acción energéticos**

Para la realización de los objetivos, metas y planes de acción energéticos de la empresa se tuvo en cuenta las áreas consideradas como más vulnerables que se obtuvieron del estudio realizado para encontrar los USE en las cuales la prioridad son las máquinas y equipos de las áreas de embutición y cuartos fríos, que son parte fundamental de los procesos de producción de la organización, también se han tenido en cuenta los sistemas de iluminación y el sistema de vapor sin olvidar uno de los factores más importantes el de capacitar a los trabajadores de la organización

Esta investigación es del tipo explicativa–longitudinal y de campo, se identifican y analizan las causas del problema, para obtener resultados verificables que expliquen el comportamiento de las variables consideradas: distancias y tiempos. Los métodos utilizados son: la observación, hipotético deductivo, análisis, síntesis y la medición. Las técnicas utilizadas para el estudio de los métodos fueron los diagramas de: flujo, de distribución de planta y analíticos; y para el estudio de tiempos se utilizó la técnica del cronometraje continuo. Para contrastar los resultados obtenidos con las hipótesis se aplicó la técnica estadística de Mann Whitney, la cual es una prueba no paramétrica que se aplica a dos muestras distintas no apareadas y el número de observaciones es pequeño.

## **Resultados y discusión**

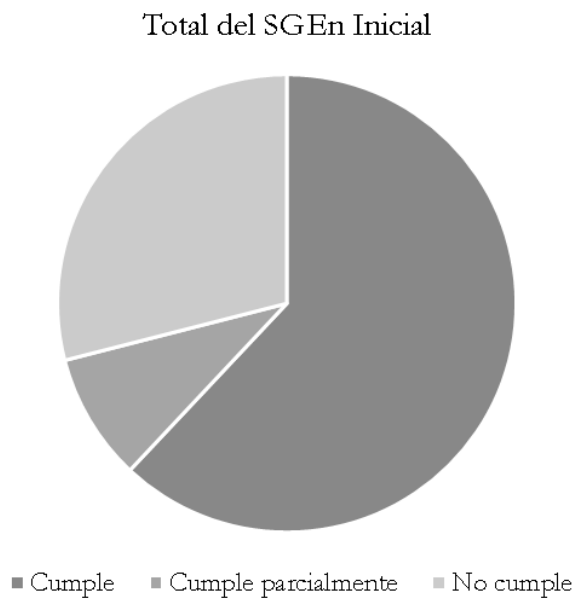
### **Diseño del sistema de gestión energética en base a la norma ISO 50001**

En junio de 2011 fue emitida la norma internacional ISO 50001, la cual se tendrá como herramienta para un mejor suministro de energía a nivel global, también va a fomentar la competitividad y un cambio positivo en el clima, y donde también como no es una norma obligatoria se puede utilizar para una certificación, registro o auto declaración del Sistema de Gestión de Energía, también se puede integrar con otros sistemas de gestión

tales como calidad, medio ambiente, salud y seguridad ocupacional y responsabilidad social. (Acoltzi, 2011). Siguiendo los parámetros de la norma y realizando los estudios pertinentes a cada uno de los ítems de la misma, se estableció una plataforma para el sistema de gestión energética basado en la norma ISO 50001 con la elaboración del manual de gestión de la energía para la empresa “La Ibérica Cía. Ltda.”, con la ayuda del departamento de calidad y el área de mantenimiento.

### **Análisis final de evaluación de la implementación de la norma ISO 50001**

Una vez realizada la ejecución de la implementación de un SGEEn en base a la norma ISO 50001 en la empresa “La Ibérica Cía. Ltda.” se han obtenido los siguientes resultados referentes a todos los ítems de la norma, los cuales se muestran a continuación:



**Figura 2.**  
Cumplimiento general del análisis final de evaluación

A la terminación del estudio de todas las etapas del análisis final de evaluación y a través de los diagramas resultantes de todas las etapas antes mencionadas, se puede decir que en la empresa “La Ibérica Cía. Ltda.” se ha cumplido en su totalidad con un 62% de los requisitos solicitados por la norma ISO 50001 para su adecuada implementación, un 9% de cumplimiento parcial el cual progresivamente se espera que se lo ejecute completamente, quedando un 29% de no cumplimiento dentro de la organización, del cual se tiene la expectativa de que sea ejecutado gradualmente por los diferentes entes de la empresa para así adoptar en su totalidad el SGEEn establecido por organización.

### **Diagnóstico del consumo energético de la empresa**

Dentro de la empresa se identificaron 10 áreas distribuidas dentro de la misma, donde se realizó la recolección y ordenamiento de los datos históricos de consumo de la empresa, así como de los datos almacenados en el transcurso de la ejecución del proyecto, los cuales provinieron de la facturación de sus fuentes de energía como son: diesel, agua, electricidad y vapor; dentro de los cuales se consideran de mayor importancia la electricidad y el vapor.

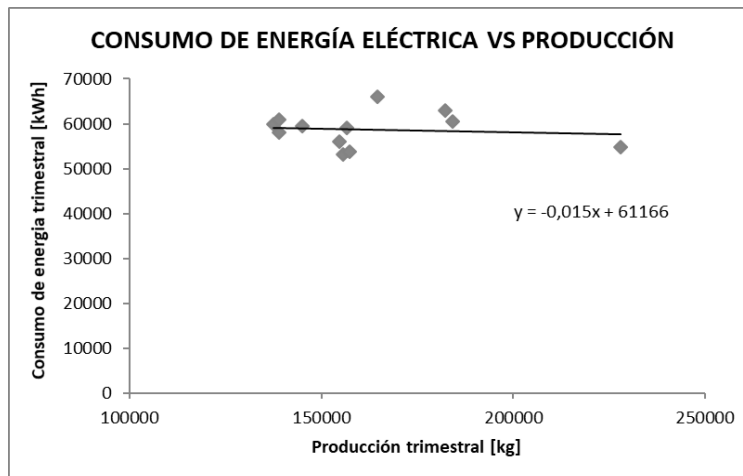
### Diagnóstico usos significativos de energía USE

Los principales USE de la empresa diagnosticados en el transcurso de esta investigación fueron 6 y 3 equipos del área de embutición y cuartos fríos respectivamente los cuales consumen casi el 80% de energía eléctrica total de la empresa

### Diagnóstico de la producción vs consumo de energía eléctrica

Al realizar el estudio de los USE de la empresa se puede observar que las áreas de embutición y cuartos fríos y por ende los equipos y maquinas que se encuentran aquí, son los que usan la mayoría de energía de la planta, los cuales están directamente relacionados con los procesos de producción de la empresa, como se puede ver en la Figura 82, donde se encuentra la relación entre la producción y la energía eléctrica consumida trimestralmente en la empresa en el periodo 2012-2014.

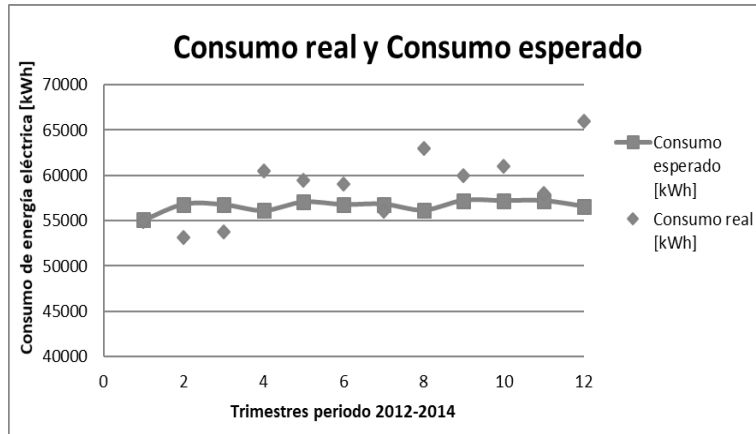
Como resultados de la Figura 82 se obtiene la ecuación  $y=61166-0,015x$ , que tiene una tendencia negativa, lo cual quiere decir que la producción cada trimestre que pasa va disminuyendo y por ende la cantidad de energía consumida decrece de forma proporcional a la cantidad de producción. Lo interpretación de esta ecuación es la siguiente: el consumo de energía eléctrica fijo correspondiente a los procesos de producción de la fábrica es de 61166 [kWh], independiente de la carga de trabajo que esta tenga, y  $x$  [kg] es la variación de producción que tiene un factor multiplicador de  $-0,015$  [kWh].



**Figura 3.**

Diagrama de dispersión del Consumo de energía eléctrica vs Producción

Con los datos recolectados anteriormente se obtiene el promedio trimestral de producción que es de 161982,46 [kg] y por lo tanto el consumo esperado de la empresa es de 58736,26 [kWh]. Una vez que se ha identificado el consumo esperado de la empresa y basándose en el promedio trimestral de producción, se lo puede graficar para así tener una clara comparación con el consumo real de la misma.



**Figura 4.**

Consumo real y consumo esperado

Con los datos obtenidos entre la comparación de consumo real y consumo esperado de la empresa se puede observar que la organización tiene una desviación porcentual aceptable hasta cierto punto, pero los puntos donde se dan mayores cambios son en los últimos trimestres de cada año y esto se debe a que la producción en estas épocas aumenta debido a que crece la demanda de embutidos por tiempos como la navidad, en la cual siempre se ha observado un incremento de producción y por lo tanto un incremento en el consumo de energía eléctrica.

También para tener una referencia de cuantos kg aproximadamente se producen a partir del consumo de un kWh, y con la ayuda de datos recolectados y procesados, los cuales dan a conocer que por cada 2,77 kg de producto terminado o listo para la venta, se consume 1 kWh, lo que en costos vendría a decir que por cada 2,77 Kg de productos procesados se gasta alrededor de 10 centavos de dólar en lo relacionado a electricidad, este dato sirve para tener un valor referencial entre la producción y el consumo eléctrico que se da en la empresa.

### Diagnóstico de la línea base energética

Tras encontrar la ecuación que rige a la línea base energética en función del periodo enero2014-diciembre2014, se calculó que el ahorro mensual aproximado es de \$100 dólares, esto se obtiene por el simple hecho de establecer políticas energéticas sostenibles y gracias a la concientización aplicada de los trabajadores en cada uno de los puestos de trabajo de la empresa.

### Conclusiones

Se enfocó el estudio de análisis inicial de diagnóstico a través de los requerimientos que pedía la norma NTE ISO 50001; la empresa no contaba con ningún estudio previo en relación a eficiencia energética, pero contaba con pocos requisitos en los ítems de implementación y operación, de la misma manera en planificación energética, pero indirectamente porque el área de mantenimiento mantuvo un buen plan de acciones correctivas y preventivas, teniendo identificados los posibles equipos de mayor consumo energético de la organización.

Se elaboraron diagramas de flujo de los procesos de producción de los 24 productos que ofrece oficialmente la empresa, los cuales están en función de las máquinas y equipos que se utilizan en cada fase de la elaboración



de embutidos, el tipo de energía que se utiliza en cada etapa y si se emplea combustible en alguno de los procedimientos se lo menciona de igual manera.

Se establecieron las áreas, zonas, máquinas y equipos de potencial ahorro energético con objetivos, metas y planes de acción definidos, en las máquinas y equipos e iluminación de las distintas áreas de producción, entre las que destacan el área de cocción, generación y distribución del sistema de vapor y lo más importante la competencia y formación de personal donde se tuvo una inducción a todo el personal de la empresa sin contar con personal administrativo.

Se creó en conjunto con la gerencia, los jefes de las distintas áreas, el personal y operarios de las distintas máquinas y equipos de la fábrica el nuevo sistema de gestión energética (SGEn) para la empresa, el cual fue aceptado con gran entusiasmo y es caso de estudio primordial de la organización en cuanto a lineamientos energéticos.

Se creó un nuevo departamento de gestión de calidad, energía y medio ambiente, como sub-área la oficina ISO 50001 y revisión energética, el cual se lo agrego al organigrama ya existente en la empresa.

En la última etapa de este proyecto de implementación se elaboró un análisis final de evaluación en la empresa “La Ibérica Cía. Ltda.”, el cual arrojó un cumplimiento del 62% de los requisitos solicitados por la norma ISO50001:2012 para su adecuada implementación, un 9% de cumplimiento parcial el cual progresivamente se espera que se lo ejecute completamente, quedando un 29% de no cumplimiento dentro de la organización, del cual se tiene la expectativa de que sea ejecutado gradualmente por los diferentes entes de la empresa para así adoptar en su totalidad el SGEn establecido por organización.

### **Agradecimientos**

Los autores agradecen a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo especialmente a la escuela de Ingeniería Mecánica, a la empresa “La Ibérica Cía. Ltda”, por facilitar los datos necesarios para realizar esta investigación. Además, el Ing. Israel García e Iván Vinza por la toma de datos en la empresa.

### **Referencias**

- Acoltzi A., H. & Pérez R., H. (2011). ISO 50001, Gestión de energía. Artículo técnico. *Boletín IIE* pp. 157-161.
- Aenor Ecuador (s.f). *Asociacion Española de Normalización y Certificación. (AENOR)* Recuperado de: <http://www.aenorecuador.com/gestion-energetica.aspx>
- BASF (Dirección) (2011). *Eficiencia Energética* [Película].
- Borroto Nordelo, A., & Díaz Bonifaz, R. (2013). *Recomendaciones metodológicas para la impletación de sistemas de gestión de la energía según la norma ISO 50001*. Cienfuegos, Cuba: Universo Sur.
- Carvajal, Pablo, E. A. (2013). Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. Recuperado <https://www.sectoresestrategicos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/11/BalanceEnergético-2014-web.pdf>

- CONELEC (2013). *Plan Maestro de Electrificación 2013-2022. Plan Maestro de Electrificación, Resumen Ejecutivo*. Quito, Ecuador: Advantlogic Ecuador.
- Consortio EDER y Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Industriales (2010). *Estudio de aborro y eficiencia energética en comunidades de regantes e industria agroalimentaria de la Ribera de Navarra, Navarra*.
- Cuenca M., S. E. (2013). *Factibilidad de la Norma ISO 50001 en la Central Hidroeléctrica "Carlos Mora Carrión"*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas.
- G., Jennyffer C. (2014). *Guía para la aplicación de sistemas de gestión energética orientado a la energía eléctrica, basado en la norma ISO 50001*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.
- Global Footprint Network Organization (12 de Abril de 2014). *Global Footprint Network*. Recuperado de <http://www.footprintnetwork.org/es/index.php/GFN/>
- INEN (2012). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 50001:2012. 1*. Quito-Ecuador.
- INER (27 de Marzo de 2013). *Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables. (Vistazo)* Recuperado de <http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/05/Ahorre-energía-por-el-planeta-y-su-bolsillo-Artículo-Revista-Vistazo.pdf>
- ISO International Organization for Standardization (2011). *ISO 50001 Sistemas de gestión de la energía*.
- ISO 50001 N. I. (2011). *Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso. Organización Internacional de Normalización, Norma ecuatoriana correspondiente*.
- Javier A. Rosero, S. M. (Julio de 2013). *Gestión energética integral en procesos industriales. Visión Electrónica*.
- MAE (1 de Julio de 2012). *Ministerio del Ambiente Ecuador*. Recuperado de <http://www.ambiente.gob.ec/punto-verde/>
- MEER (s.f). *Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. Eficiencia Energética en el Sector Industrial*. Recuperado de <http://www.energia.gob.ec/eficiencia-energetica-sector-industrial/>
- Plan Nacional del Buen Vivir (2013). *Buen Vivir Plan Nacional 2013-2017. Objetivo 11: Asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica*. Recuperado de: <http://www.buenvivir.gob.ec/objetivo-11.-asegurar-la-soberania-y-eficiencia-de-los-sectores-estrategicos-para-la-transformacion-industrial-y-tecnologica#tabs2>
- Ramírez Alomía, Ángel. (2014). *Estudio de detalle para la optimización del sistema de vapor*. Quito, Ecuador: MEER.
- Registro Oficial Órgano del Gobierno del Ecuador. (2015). *Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica*. Registro Oficial N° 418, 3. Quito, Ecuador: Editorial Nacional.

Renovables, E. E. (s.f.). *Energías Renovables*. Recuperado de <http://www.energiasrenovables.Ciemat.es/especiales/energia/index.htm>

Romero, N. L. (2013). *Viabilidad técnica y operativa para implementar un sistema de gestión energética (SGE) en una refinería de Colombia basado en la metodología del estándar ISO50001*, pp. 9-10. Bogotá, Colombia.

Sáenz, J. (2005). *Seguridad industrial*. Madrid, España: Limusa.

Tsung-Yung Chiu, S.-L. L.-Y. (Diciembre 1, 2012). Establishing an integration-energy-practice model for improving energy performance indicators in iso 50001 energy. *Journal Energies*, pp.5326-5327.

Zoran K, M. (2008). *Applied industrial energy and environmental management*. J. W. IEEE, Ed., Belgrado, Serbia.

# Dimensionamiento óptimo para pequeños sistemas híbridos aislados, aplicado en las Islas Galápagos

**Juan Carlos Lata**

Universidad Politécnica Salesiana

jlatag@ups.edu.ec

**Jhon Paúl Macancela**

Universidad Politécnica Salesiana

jmacancela1@est.ups.edu.ec

## Resumen

Electrificación en islas es uno de los compromisos de las empresas suministradoras y los gobiernos en general, que el cambio climático motiva a utilizar fuentes disponibles localmente de energía renovables, evitando el uso de generadores a diésel. En este contexto, esta investigación pretende el diseño óptimo de pequeñas unidades (paneles fotovoltaicos y turbinas de viento), lo cual es técnicamente factible y económicamente óptimo, para el análisis se usan datos publicados por el correspondiente ente gubernamental. El consumo anual per cápita de los habitantes de las islas Galápagos es 1628 kWh/hab. El sistema de potencia se modeló y se estimó la configuración óptima del sistema con la ayuda de HOMER. El modelo ha sido simulado para un año, se realiza el análisis de sensibilidad para comprender el efecto de diversas incertidumbres sobre el costo actual neto.

**Palabras claves:** Energía renovable, Sistemas híbridos, Isla.

## Abstract

To supply islands with electricity is one of the commitments of utilities companies and governments in general. The climate change motivates to use locally-available sources of renewable energy, avoiding the use of diesel generators. In this context, this research intends the optimum design of small hybrid system units (photovoltaic panels and wind turbines), which is technically and economically feasible. For the analysis data released by the competent governmental entity is used. The annual consumption per capita of the Galapagos Islands is 1628 kWh per inhabitant. The power system was modeled through HOMER, as well as the estimation of the optimal configuration of the system. The model has been simulated for a year period and, sensitivity analysis is performed to understand the effect of various uncertainties on the current net cost.

**Keywords:** Renewable energy, Hybrid systems, Island.

## Introducción

Existen muchas zonas rurales especialmente en los países en desarrollo, que no tiene acceso a la red de energía convencional este problema se agrava más en el caso de las islas. Hoy en día un gran porcentaje de islas en el mundo la electricidad es suministrado por generadores de combustión interna consumiendo los recursos de combustibles fósiles y los costos asociados a la contaminación ambiental (Kumar, Pukale, Kumabhar, & Patil, 2016).

La aplicación a gran escala de combustibles fósiles tradicionales, promueve el desarrollo comunitario pero también trae crisis energética debido al alto costo y la dificultad de transportar hacia las islas (Zhang, Huang, Shu, Wang, & Ding, 2017).

En los últimos años se ha incrementado vertiginosamente la utilización de recursos energéticos renovables, actualmente, las fuentes de generación distribuida facilitan alternativas de energización razonables y beneficiosas. Estas energías renovables cada vez son más importantes y necesarias, ya que se hace notable la carencia de los combustibles fósiles y la huella de carbono asociada, las fuentes de generación distribuidas es el recurso energético que ayudaría a combatir este gran problema.

La energía renovable es la energía que se deriva de recursos naturales tales como la radiación solar, el viento, la lluvia, las mareas, las olas y el calor geotérmico. Estos recursos al integrarse logran sustituir a la generación mediante combustibles comunes.

Un sistema híbrido de energía suele agrupar dos o más fuentes de energía renovables, siendo más eficientes que un solo tipo de generación, estas fuentes empleadas junto con los recursos convencionales proveen de mayor eficiencia al sistema y mayor equilibrio entre la demanda y la carga.

Por tal razón, varios investigadores han buscados nuevas alternativas energéticas condiferentes configuraciones de sistemas híbridos de energía, sin embargo, al dimensionar un sistema se encuentran con dificultades en el diseño por poca predictibilidad del clima.

### **Importancia del problema**

La electrificación en las islas juega un rol importante en el desarrollo de una comunidad y en el nivel de vida de sus ciudadanos, en la actualidad el medio de electrificación de las islas de los países en desarrollo ha sido basado en generadores a diésel para lo cual consumen combustibles fósiles, el alto coste de combustible a nivel mundial, la contaminación asociada, la dificultad al momento de transportarlos lo vuelven insostenibles (Sandeep & Vakula, 2016), la comunidad enfrentan desafíos en materia ambiental, económica y social. Todo lo descrito se traduce a un alto coste de energía pagado por los consumidores o el gobierno con un mayor coste ambiental con la emisión de gases efecto invernadero.

Las energías renovables son limpias y pueden ser una solución alternativa para un suministro de energía fiable, por tal razón se han desarrollado varias investigaciones en el mundo con modelos matemáticos para cada uno de los elementos del sistema, la poca predictibilidad del clima lleva a que el dimensionamiento sea un diseño complejo.

Rajanna en su trabajo presenta un modelo óptimo de un sistema híbrido de energías renovables mediante varias fuentes de energía renovables disponible solar (PV), eólica (WT), micro hidráulica, biomasa y biogás, para lograr la optimización del sistema ha considerado tres variables de decisión, el área total de los paneles fotovoltaicos, el barrido total de las palas del aerogenerador y el estado de la carga de la batería (SOC), para minimizar el coste total neto actual y garantizar la fiabilidad del sistema usa algoritmos genéticos.

Los resultados de la simulación ha considerado tres modelos óptimos sobre la base de dos escenarios, los tipos dispositivos y la combinación del recursos (Rajanna & Saini, 2016).

Otros investigadores han realizado un dimensionamiento óptimo de un sistema híbrido con bancos de almacenamiento de energía eólica considerando las incertidumbres de la demanda de la carga y de la velocidad del viento, donde se modelan usando la técnica del promedio móvil autorregresivo con la simulación secuencial de Montecarlo, el artículo demuestra el rendimiento computacional del solucionador para obtener el mínimo coste del sistema bajo diferentes niveles de fiabilidad y desplazamiento de la carga (Sandeep & Vakula, 2016).

Mediante el software MATLAB®, se puede lograr un dimensionamiento técnico óptimo de un sistema híbrido con el uso de la herramienta SimulinkDesignOptimization (SDO), esta herramienta es válida y utilizada por varios investigadores (Cano, Jurado, Sánchez, Fernández, & Castañeda, 2014).

### **Metodología**

Herramientas tecnológicas como el software de microrredes para el diseño de sistemas híbridos optimizados (HOMER) ha sido utilizado por investigadores, este software es una poderosa herramienta para resolver problemas de dimensionamiento, utilizando datos ambientales por hora y de la carga, logrando minimizar óptimamente el costo del sistema de valor presente neto (“HOMER - Hybrid Renewable and Distributed Generation System Design Software,” n.d.)

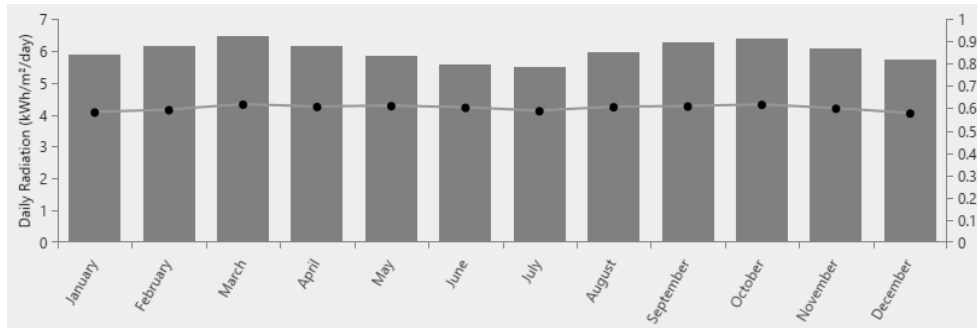
Mediante un modelo de simulación HOMER configuraremos un sistema viable para todas las combinaciones de los sistemas de generación distribuidos, que brindara una simulación óptima para las fuentes de energía renovable (Kumar et al., 2016) Para poder realizar este método se clasifica los sistemas de acuerdo con la variable de optimización de elección para garantizar la máxima eficiencia. Además, simplificaremos un algoritmo que optimiza nuestro proceso de diseño que permitirá identificar opciones de menor costo para un sistema de generación eléctrica.

Mediante el análisis que HOMER genera podemos controlar todos los aspectos de nuestro sistema y nos permite establecer el grado de importancia de cada variable escogida comparando los resultados obtenidos de las configuraciones de nuestro proceso y además de una clasificación ante ciertas posibilidades de escoger nuestra variable de control (Bahramara, Moghaddam, & Haghifam, 2016) Al momento de desarrollar un sistema energía híbrido para el caso de una isla, se necesita tener un conocimiento fundamental sobre esta tecnología.

El propósito de este trabajo es obtener el diseño óptimo de un sistema híbrido aislado de manera técnica y económica para satisfacer la demanda de una vivienda promedio en la isla Santa Cruz del archipiélago de Galapagos, para lo cual como entradas del sistema se utiliza las variables meteorológicas obtenidas de la administración nacional de aeronáutica y el espacio (NASA) de Estados Unidos y del laboratorio de energía renovable (NREL), la disponibilidad de los recursos de energía primaria otorga el éxito o fracaso del sistema.

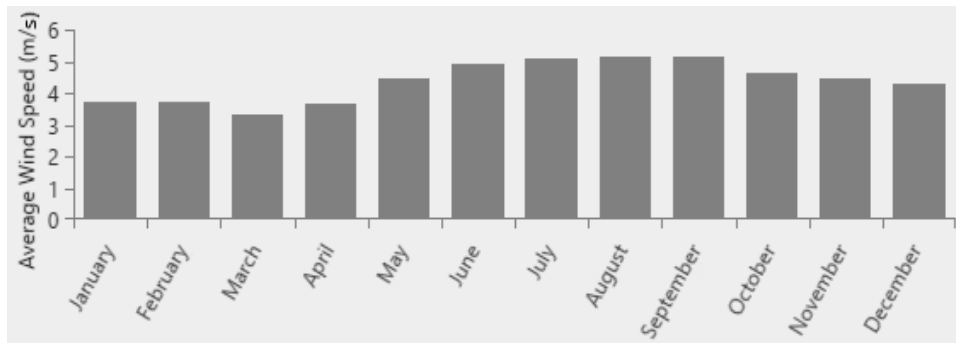
### **Disponibilidad de las fuentes de energía renovable.**

Los valores promedios de radiación solar global se muestran en la fig. 1. Donde para los cálculos de dimensionamiento se utiliza la radiación del peor mes, Julio con 5500 kWh/m<sup>2</sup>/día.



**Figura 1.**  
Radiación solar diaria

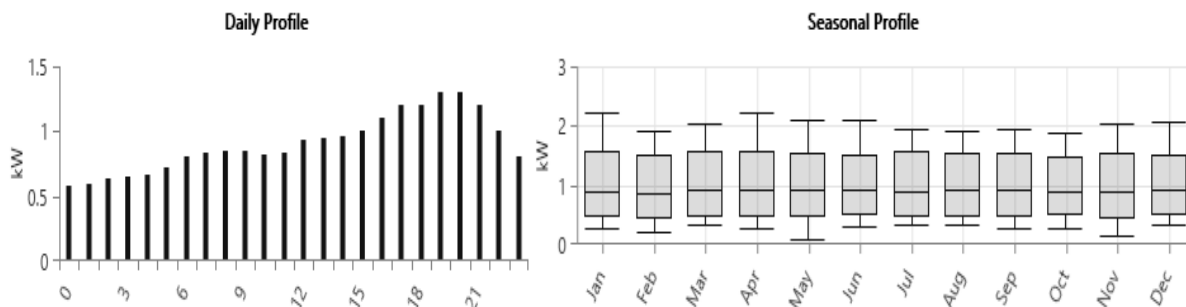
La velocidad de viento en la isla Santa Cruz donde va a ser simulado los aerogeneradores se tiene una velocidad promedio de 4.30 m/s tomado como referencia el anemómetro a 50m de altura.



**Figura 2.**  
Velocidad del viento

### Perfil de la carga

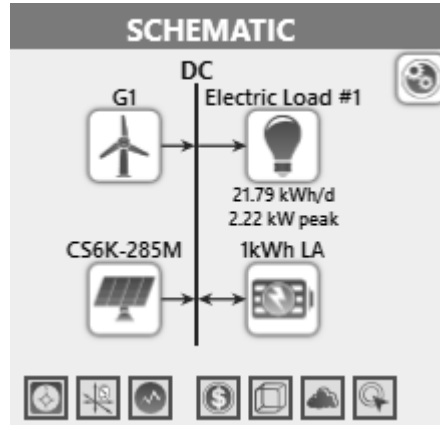
Para realizar la simulación en el programa HOMER se ha tomado en cuenta el consumo anual per cápita de los habitantes de galapagos 653 kWh/mes (“Consumo Anual Per Cápita | Agencia de Regulación y Control de Electricidad,”), y la curva de demanda residencial de los ecuatorianos.



**Figura 3.**  
Perfil diario y anual

### Configuración del sistema.

El dimensionar un sistema híbrido es una tarea compleja por la poca predicción de las variables meteorológica, el sistema híbrido propuesto está conformado por paneles fotovoltaicos (PV), turbina de viento (WT), y un banco de baterías(BB), todos los elementos se conectan a un bus común en DC, en la fig. 4, se muestra el sistema propuesto.



**Figura 4.**

Modelo del sistema propuesto

**Fuente:** Autores

### Paneles solares

El panel solar que se incluye en la simulación es del fabricante canadians solar, la potencia de salida (PPV) es dada en función de la radiación global (G) medida en kW, y el factor de escala (dr) tiende en la reducción de potencia para condiciones normales, la ecuación 1 modela matemáticamente el PPV.

$$P_{PV} = P_{PV, RATED} \cdot d_r \cdot G \quad (1)$$

### Turbina de viento

La potencia de salida de la turbina de viento (WT), está en función de la velocidad del viento y la altitud de las palas y es descrita por la ecuación 2.

$$P_{wt}(t) = \begin{cases} 0, V \leq v_{cut-in} \text{ or } V \geq V_{cut-out} \\ Pr \left( \frac{V^3 - V_{cut-in}^3}{V_r^3 - V_{cut-in}^3} \right), V_{cut-in} < V \leq V_r \\ Pr, V_r < V \leq V_{cut-out} \end{cases} \quad (2)$$

En la relación, V (m/s), Vr, Vcut-in, y Vcut-out representa, respectivamente, la velocidad del viento en el centro del aerogenerador, velocidad nominal, la velocidad de corte, velocidad de corte de salida. Pr representa la salida de potencia a una velocidad promedio (Nadjemi, Nacer, Hamidat, & Salhi, 2017).

### Banco de Baterías

El propósito del banco de baterías es almacenar la energía producida en exceso, y verter energía en caso que requiera la carga, esencialmente cuando ninguno de los generadores produzca por la falta de radiación o



viento, el estado de carga batería se puede calcular con la siguiente ecuación<sup>3</sup>, en este caso se utiliza baterías de plomo ácido de 1kWh.

$$SOC(t) = SOC(t - 1) + \frac{E_{bat}(t) \cdot \eta_{cbat}}{P_{bat}} \cdot 100 \quad (3)$$

## Resultados

Los resultados de optimización se muestran en la tabla 1, donde el sistema híbrido este compuesto por 10 kW de paneles solares de 285 kW cada unidad, con un aerogenerador de 2 kW y 120baterías de 1 kWh de lead acid, en la parte de costos el NPC llegan 49723 dólares con un capital inicial de 25000 dólares.

**Tabla 1.**  
Resultados de optimalización

Optimization Results													
Architecture		Cost			System		CS6K-285M		G1		1kWh LA		
CS6K-285M (kW)	1 k G1 WH Dispatch LA	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Capital cost (\$)	Production (kWh)	Capital cost (\$)	Production (kWh)	O&M Cost (\$)	Autonomy (hr)	Annual throughput (kWh)
10	120	0,397 \$	40.488 \$	1,767 \$	18.000 \$	100	0					79,4	
10	1 120	0,484 \$	49.723 \$	1,912 \$	25.000 \$	100	0	449	7,000	449	700	79,4	

Los valores en producción y consumo para cada uno de los generadores son presentados en la tabla 2.

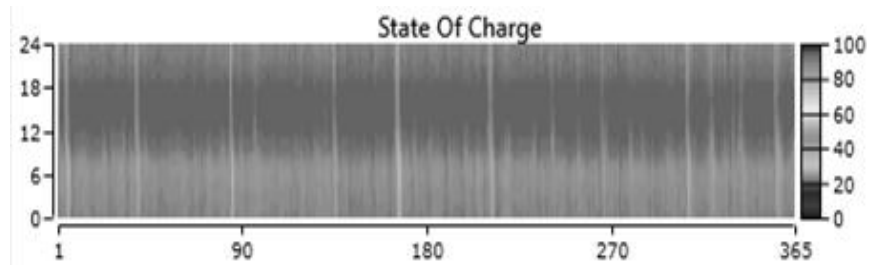
**Tabla 2.**  
Generación total de energía eléctrica por cada fuente.

Production	kWh/yr	%	Consumption	kWh/yr	%
Canadian Solar Quintech CS6K-285M	18,024	97.6	AC Primary Load	0	0
Generic 1kW	449	2.43	DC Primary Load	7,953	100
Total	18,472	100	Total	7.953	100

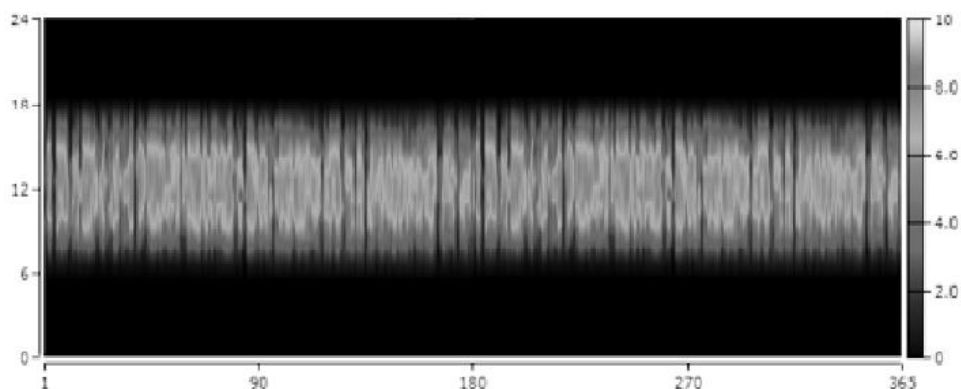
Quantify	kWh/yr	%	Quantify	Value
Excess Electricity	9,529	51.6	RenewableFraction	100
Unmet Electric Load	0	0	Max. Renew. Penetration	2,628
Capacity Shortage	0	0		

En las figuras 5 se muestra el estado de la carga de la batería, durante la mayoría de días del año el porcentaje de carga es superior al 60 % con una energía de almacenamiento de 4991 kWh/yr y una salida de energía hacia la carga de 4002 kWh/yr, logrando una autonomía de 79,4 hr con una capacidad nominal de 120 kWh. En la figura 6 se muestra la potencia de salida, tomando en cuenta la abundante radiación solar que posee la isla, con un total de horas de operación 4380 hrs/yr, con lo cual demuestra el número de horas solar día es mayor a 12h, la salida de potencia diaria es 49,4 kWh/d, la total de producción del generador fotovoltaico de 10kW es 18024 kWh/yr.



**Figura 5.**

Estado de carga de las baterías de plomo ácido de 1kWh



**Figura 6.**

Potencia de salida fotovoltaica

Los generadores optimizados en el simulador nos dan resultados óptimos para nuestra investigación satisfacer de forma fiable la carga con un sistema híbrido por lo tanto nuestro diseño es viable.

### Conclusiones

La implementación de pequeños sistemas híbridos en viviendas ubicadas en islas es una solución viable al déficit de energía y evitar el consumo de combustibles fósiles, en el trabajo desarrollado se pudo constatar que la demanda requerida es suministrada de forma óptima, generada correctamente por los paneles solares y turbina eólica. Se obtuvo un valor eficiente en la potencia de salida fotovoltaica por la gran cantidad de horas solar pico. Por esta razón el banco de baterías pasa durante todo el año con valores al 60% de la carga, con lo cual se asegura la fiabilidad del sistema. La presencia del viento debido a su situación geográfica no es favorable sin embargo se puede obtener energía de esta fuente para las horas de la noche donde no se tiene generación de origen solar. La radiación solar presenta valores muy altos para la utilización de paneles solares. Debido a los valores de radiación solar y viento es factible y viable su implementación. La energía producida por la turbina y las celdas fotovoltaicas satisfacen con la demanda inicial. La contaminación ambiental es reducida por el empleo de energías renovables. Reduce el costo por kWh a largo plazo, confiabilidad del sistema y de fácil acceso. Los generadores optimizados en el simulador satisfacen la demanda con resultados satisfactorios.

## Referencias

- Agencia de Regulación y Control de Electricidad (s.f.). *Consumo Annual Per Cápita*. Retrieved from <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/recaudacion-anual/>
- Bahramara, S., Moghaddam, M. P., & Haghifam, M. R. (2016). Optimal planning of hybrid renewable energy systems using Homer: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, pp. 609–620. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.039>
- Cano, A., Jurado, F., Sánchez, H., Fernández, L. M., & Castañeda, M. (2014). Optimal sizing of stand-alone hybrid systems based on PV/WT/FC by using several methodologies. *Journal of the Energy Institute*, 87(4), pp. 330–340. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.joei.2014.03.028>
- HOMER (s.f.) *Hybrid Renewable and Distributed Generation System Design Software*. Retrieved from <http://www.homerenergy.com/>
- Kumar, P., Pukale, R., Kumabhar, N., & Patil, U. (2016). Optimal Design Configuration Using HOMER. *Procedia Technology*, 24, pp. 499–504. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.05.085>
- Nadjemi, O., Nacer, T., Hamidat, A., & Salhi, H. (2017). Optimal hybrid PV/wind energy system sizing: Application of cuckoo search algorithm for Algerian dairy farms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, pp. 1352–1365. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.038>
- Rajanna, S., & Saini, R. P. (2016). Optimal modeling of an integrated renewable energy system with battery storage for off grid electrification of remote rural area. In 2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems ICPEICES pp. 1–6. IEEE. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/ICPEICES.2016.7853114>
- Sandeep, G., & Vakula, V. S. (2016). Optimal combination and sizing of a standalone hybrid power system using HOMER. In 2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT) pp. 4141–4144. IEEE. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/ICEEOT.2016.7755496>
- Zhang, J., Huang, L., Shu, J., Wang, H., & Ding, J. (2017). Energy Management of PV-diesel-battery Hybrid Power System for Island Stand-alone Micro-grid. *Energy Procedia*, 105, pp. 2201–2206. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.622>

# Acondicionamiento en un motor a diésel con un sistema Bi-Fuel diésel biogás para el funcionamiento de una bomba de riego en la Hacienda San Francisco

**Carlos Fernando Chiluisa Cueva**  
Universidad Técnica de Cotopaxi  
ingcarloschiluisa@outlook.com

**Marco Aníbal León Segovia**  
Universidad Técnica de Cotopaxi  
Marco.leon@live.com

**Manuel Ángel León Segovia**  
Universidad Técnica de Cotopaxi  
manuel.leon@utc.edu.ec

**Luigi Orlando Freire Martínez**  
Universidad Técnica de Cotopaxi  
luigi.freire@utc.edu.ec

## Resumen

Este proyecto presenta el diseño, desarrollo e implementación de un grupo de bombeo en la Hacienda San Francisco, con una capacidad de bombear 200 litros por segundo, a través de un motor a diésel de 8x40x2 PE de 50 HP a 1800 RPM, con la adaptación de un kit Bi-Fuel que permite realizar la mezcla Aire-Biogás que ingresa por la cámara de admisión reemplazando un 30% de consumo de diésel, el equipo Dual es fácil de usar y operar. En la línea de biogás se incluyó un filtro de purificación que permite separar el H<sub>2</sub>S del biogás, un condensador propio del biodigestor que reduce el porcentaje de agua existente en el biogás y el tanque de anti explosión el cual ayuda a la extinción de la flama en caso de presentar fuego en los elementos antes mencionados del biodigestor y el motor dual. El grupo de bombeo logra actuar sobre cuatro aspersores, los mismos que son cambiados de sitio cada dos horas para cubrir toda el área de riego. Cabe recalcar que la adaptación del kit Bi-Fuel no afectó a las condiciones de trabajo del motor diésel, ya que se usó un compresor axial que emite una presión mínima de 120 kPa.

**Palabras claves:** Biocombustibles, Biogás, Motor diésel, Riego por bombeo.

## Abstract

This project present the design, development and implementation of a pumping group in the San Francisco Ranch, which capacity of pumping is about 200 liter per second, using a diesel engine of 8x40x2PE of 50HP at 1800 Rpm, whit a kit Bi-fuel adaptation, which allow mix the air with biogas that enters into the admission chamber replacing 30 per cent of diesel consumption, the dual equipment is easy to operate and use. The biogas line included a purification filter that separates the H<sub>2</sub>S from biogas, a condenser of the biodigester that reduce the water percentage of the biogas and a tank anti-explosion which help to extinguish the flame in case of fire in the elements mentioned above belong the biodigester and the dual engine. The pumping group manage act four sprinklers, which are moved every two hours to cover the irrigation area. It is worth to say the adaptation of Bi-fuel kit doesn't affect the working conditions of the diesel engine, because the axial compressor used emits a minimum pressure of 120kPa.

**Keywords:** Biofuels, Biogas, Diesel Engine, Pumping Irrigation.

## **Introducción**

### **Introducción al problema**

La Hacienda San Francisco se encuentra en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi. Tiene como actividad principal la ganadería y producción de leche. Cuenta con 80 hectáreas de terreno. Debido a la gran cantidad de excremento generado por el ganado, se ha optado por aprovechar esta materia orgánica en un biodigestor, para obtener fertilizante y biogás. El biodigestor construido es de tipo membrana con una capacidad de 1300 metros cúbicos. Tiene los siguientes componentes: tanque de mezcla, fermentador de 1300 metros cúbicos, tanque de descarga y lecho de secado de lodos. La producción promedio de biogás es de 23 m<sup>3</sup>/h, se cuenta con un medidor de gas instalado.

Los pastos que dispone la hacienda cuentan con riego por aspersión, donde se utiliza bombas eléctricas de 50 HP de potencia (37.3kW). Aquí surge un inconveniente económico con respecto al pago de planillas de consumo eléctrico, cuyo valor se encuentra alrededor de \$895.2 dólares americanos mensuales. De aquí nace la idea de utilizar un motor de combustión interna que utilice biogás y diésel, en un sistema bi-fuel para su funcionamiento, y acoplar una bomba de agua que cumpla la necesidad de riego existente en la hacienda y disminuir los costos de operación que implica el bombeo. Cabe señalar que además, se reducirá las emisiones de gas carbónico al invertir el funcionamiento con un combustible amigable con el ambiente, siendo responsables de reducir el efecto invernadero al utilizar un combustible convencional.

Los objetivos de la investigación se basan en determinar la calidad del biogás entregado por el biodigestor hacia la zona de admisión del motor, para reducir el consumo de combustible optimizando el uso de este recurso para el encendido de un motor de combustión interna a diésel, el cual permite aprovechar el biogás para lograr obtener energía mecánica y poder acoplar una bomba agua; mediante un sistema de purificación de biogás económico y eficiente para la eliminación de ácido sulfhídrico, siendo estos acondicionados para un motor de combustión interna de diésel; el funcionamiento del sistema se relaciona con las propiedades similares que posee el biogás con el combustible convencional, siendo el biogás un combustible más eficiente con un menor consumo y brindando un mejor desempeño del motor.

El biogás es un gas que contiene gran cantidad de metano y es un combustible natural no fósil de alto poder calorífico, este gas se lo puede usar en todas las áreas como reemplazo de combustible fósil, como puede ser empleado en generadores térmicos, motores a base de combustible diésel y gasolina; pudiendo evidenciar que en la práctica de funcionamiento se pueden incorporar en cualquiera de los dos sistemas de combustión.

### **Metodología**

El estudio de la utilización de biogás como combustible alternativo se enfocó en un análisis de funcionamiento y requerimientos de un motor de combustión interna, que con sus componentes y accesorios de origen producen un mejor rendimiento con el mínimo gasto de combustible.

El dimensionamiento del grupo de bombeo se lo realizó acorde a una bomba de 50 hp a 1800 RPM que disponía la hacienda. Para la selección del motor diésel se toma en cuenta la potencia de la bomba centrífuga de agua, la altura atmosférica, ya que este factor incide directamente ante la potencia del motor, ya que baja el rendimiento, y el factor de seguridad. Para la ubicación del grupo de bombeo se buscó un lugar cerca del canal de riego. La ventaja del lugar escogido es que el biodigestor se encuentra junto a este.

El tren de calibración de gas es un elemento muy importante en el sistema ya que controla la presión, mide el caudal del biogás, calibra la presión de servicio con la que va a trabajar el sistema bi-fuel. Para su diseño se dimensionó a partir de la cantidad máxima de ahorro de diésel o relación diésel-biogás en la cámara de combustión, para el cálculo de flujo de biogás. Con respecto a la presión, esta se debe calibrar con la recomendada por el fabricante del sistema bi-fuel

Para determinar la composición del biogás, se utilizó la cromatografía de gases que es un método físico de separación en el cual los componentes a separar se distribuyen entre dos fases. Con esto se obtiene un cromatograma que es comparado con patrones para determinar su composición. El análisis cromatográfico proporciona datos para el cálculo de las propiedades físicoquímicas tales como el poder calorífico. Se realizó el muestreo del gas de acuerdo a la norma ASTM D1945.

La medición de consumo de diésel del motor es un aspecto fundamental ya que de aquí se realizará comparaciones respectivas del motor en funcionamiento con diésel biogás. Los equipos y materiales requeridos para las pruebas son:

- Cronómetro
- Un envase transparente con medidas de volumen.
- Combustible diésel
- Biogás

A continuación, se describe el procedimiento aplicado para el funcionamiento del motor solo con diésel en vacío:

1. Las mangueras de alimentación y reñalse del diésel, se deben colocar en un recipiente calibrado con marcas cada 0,25 litros, dejando un volumen inicial sin marcas que corresponderán al volumen de diésel consumido por el motor durante el período de ajuste, si el consumo del motor baja el nivel hasta la primera marca se debe rellenar.
2. Se arranca la unidad generadora con diésel.
3. Se mantiene acelerado el motor a 800RPM, 1300RPM y 1700RPM.
4. Cuando el funcionamiento del motor se estabiliza, se revisa el nivel del diésel del recipiente calibrado, si está por debajo de la marca de inicio se rellena.
5. Cuando el nivel del diésel en el recipiente calibrado está en la línea de inicio se activa el cronómetro.
6. Se anota el tiempo cuando a consumo los primeros 0,25 litros, no se detiene el cronómetro.
7. se detiene el cronómetro cuando el nivel del diésel llegue a la marca de 1 litro.

Para realizar las pruebas de funcionamiento del motor dual sin carga se realizó el siguiente procedimiento:

1. Las mangueras de alimentación y reñalse del diésel, se deben colocar en un recipiente calibrado con marcas cada 0,20 litros, dejando un volumen inicial sin marcas que corresponderán al volumen de diésel consumido por el motor durante el período de ajuste, si el consumo del motor baja el nivel hasta la primea marca se debe rellenar.
2. Calibrar el tren de calibración de biogás con la presión deseada, para este caso se hicieron pruebas con 43,51, 25 y 17,4 psi.
3. Se arranca la unidad generadora con diésel.
4. Se mantiene acelerado el motor a 800RPM, 1100RPM y 1400RPM.
5. Cuando el funcionamiento del motor se estabiliza, se revisa el nivel del diésel del recipiente calibrado, si está por debajo de la marca de inicio se rellena.

6. Cuando el nivel del diésel en el recipiente calibrado está en la línea de inicio se activa el cronómetro.
7. Se anota el tiempo cuando a consumo los 0,2 litros, y se detiene el cronómetro.

Después de analizar los resultados de las pruebas, se calibra la presión del biogás que debe ingresar por la tubería de admisión de aire.

## Resultados

El poder calorífico de biogás está determinado en función del contenido de gas metano (CH<sub>4</sub>), los valores que se muestran en la tabla 1 corresponden a un contenido de metano de 60 a 65% en el biogás (ideal). La temperatura de auto-ignición del metano es de 630 °C (Moncayo G., 2011)

**Tabla 1**

Características energéticas del biogás (Moncayo. G, 2011)

<b>Poder calorífico</b>		
4700 – 5500 kcal m <sup>-3</sup>	19 646 – 22990 kJ m <sup>-3</sup>	5-7 kWh_t m <sup>-3</sup>
Poder calorífico promedio		
5100 kcal m <sup>-3</sup>	21 318 kJ m <sup>-3</sup>	6 kWh_t m <sup>-3</sup>

Se realizó una cromatografía del biogás producido por el biodigestor en condiciones iniciales, los resultados se muestran en la tabla 2. El poder calorífico del biogás es de 20,272 MJ/m<sup>3</sup>, este poder calorífico que se pretende aprovechar en el motor.

**Tabla 2.**

Resultados de la Cromatografía del Biogás del Biodigestor

<b>Componente</b>	<b>% Peso</b>	<b>% Moles</b>
Nitrógeno	9,22	8,82
Metano	32,1	53,72
CO <sub>2</sub>	56,71	34,51
H <sub>2</sub> S	0,1	0,008
Agua	1,98	2,94
Densidad Relativa	0,93	
Peso Molecular Prom. (g/gmol)	26,78	
Poder Calorífico del gas kJ/m <sup>3</sup>	20271,92	

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Instrumental Escuela Politécnica Nacional, 2017

Para funcionamiento de la bomba de 37,285 kW (50 hp) con un caudal de 0,1 m<sup>3</sup>/s se dimensiono un motor de combustión interna. Para dimensionar el motor se utilizó la siguiente fórmula:

$$HP_m = PB + PH + FS$$

Ec. 1 Potencia del motor

HP<sub>m</sub> es la potencia del motor, PB la potencia de la bomba que para este caso es 50HP, PH es la potencia de pérdida de altura a 3000msnm donde se encuentra la hacienda, y FS es el porcentaje de factor de seguridad que para este caso es el 10%. Reemplazando los datos se obtiene:

$$HP_m = 50 + (0,3 \times 50) + (0,1 \times 50)$$

$$HP_m = 70HP$$

Se necesita un motor de 52,2 kW (70 hp) para el funcionamiento de la bomba, pero debido a la disponibilidad del mercado se eligió un motor diésel de 74,57kW (100 hp) Marca ISUZU ELF 250 TLD.

Para el sistema “Bi-Fuel” se optó por el sistema CNG de la compañía LGC Gas Equipment, esta empresa es una de las pocas que ofrece el kit completo para la instalación del sistema en motores diésel de baja potencia.

El tren de calibración de biogás se diseñó a partir de la cantidad máxima de ahorro diésel o relación diésel-biogás en la cámara de combustión y también del cálculo del caudal del biogás. Se realizaron mediciones de consumo de combustible en el motor con un 75% de carga a 1700RPM con un resultado de 3,6233 gal en un tiempo de 8 horas. El poder calorífico del consumo de diésel es de 478275,6 BTU en 8 horas. Si los BTU/hora para cubrir la energía necesaria de cierta carga en un grupo de bombeo que funcione con un motor totalmente a diésel se divide, bajo el supuesto, para este caso en particular, que se trabaja con un motor Bi-Fuel, en el cual el 30% de los BTU/hora son producidos por un cierto volumen de biogás y el 70% restante de BTU/hora son producidos por el combustible diésel, se tiene un flujo de biogás en función de la potencia de la bomba centrífuga, por lo que el 30% del total del poder calorífico de consumo de diésel que debe aportar el biogás es 143482,68 BTU/8horas.

El cálculo de flujo de gas se lo hace dividiendo 30% del poder calorífico del consumo total de diesel para el poder calorífico del biogás, da como resultado 7,4676 m<sup>3</sup> en 8 horas.

La presencia de H<sub>2</sub>S en el biogás es un problema debido a que produce corrosión en las partes metálicas del motor. Por ello la eliminación de H<sub>2</sub>S tiene algunos procesos, debido a la disponibilidad y para abaratar costos, se opto por utilizar el proceso de adsorción usando óxidos de hierro donde el H<sub>2</sub>S reacciona con el óxido de hierro u óxidos para formar sulfuro de hierro. El volumen aproximado que debe filtrarse por hora es de 1 m<sup>3</sup>, por lo que se utilizaron 5 tanques de 200 litros de plástico, conectados en paralelo y herméticamente sellados. El medio filtrante escogido fue limalla de hierro debido a su fácil colocación, además es muy utilizado para separar el ácido sulfhídrico, el biogás al pasar por las paredes de hierro este se adhiere y corroe las paredes, así se queda el H<sub>2</sub>S en el filtro.

Para seleccionar el compresor se utilizó una tabla de selección de la marca Parker. La longitud de trabajo total es de 15m, y la presión máxima a usar es de 120kPa, como resultado de la tabla se seleccionó un compresor de hasta 6 CFM para el trabajo requerido, pero de acuerdo a la disponibilidad del mercado se escogió un compresor de hasta 5,1 CFM.

Un motor diésel al trabajar con dos combustibles a la vez se lo denomina motor DUAL. Una vez puesta en marcha el kit Bi-Fuel se realizó la prueba de consumo en la tabla 3 se muestran los valores medidos de consumo de diésel, y en la tabla 4 se muestran los valores de consumo como motor dual con la presión recomendada por el fabricante del kit.

**Tabla 3.**

Consumo de diésel

<b>Tiempo (minutos)</b>	<b>Revoluciones</b>	<b>Volumen Diesel (cc)</b>
13	800	200
10	1100	200
7	1500	200

**Fuente:** Autores



**Tabla 4.**

Consumo como motor dual a 120 kPa (1,2 bar)

<b>Tiempo (minutos)</b>	<b>Revoluciones</b>	<b>Aumento de RPM</b>	<b>Volumen Diesel (cc)</b>
17	800	900	200
13	1100	1150	200
9	1500	1630	200

**Fuente:** Autores

El reemplazo para este caso fue del 23,53% a 1,2 kPa, el motor trabajo en condiciones normales sin carga.

Para el funcionamiento como motor dual con carga se instaló el grupo de bombeo, el mismo que impulso el agua para un abasto de cuatro aspersores de riego, logrando llegar al 75% del trabajo de la bomba y sin saturar el trabajo mecánico del motor a diésel.

Los aspersores son rotados cada dos horas, para no tener el efecto de inundación sobre el pasto, de esta manera se cubre toda el área planificada que corresponde a cuatro hectáreas. A continuación en la tabla 5 se muestra el consumo de diésel con carga que comparándola con los valores de la tabla 6 cuando entra a trabajar el Bi-Fuel, su resultado fue notable.

**Tabla 5.**

Consumo de diésel con carga

<b>Tiempo (minutos)</b>	<b>Revoluciones Motor</b>	<b>Revoluciones Bomba</b>	<b>Volumen Diesel (cc)</b>
2,03	1700	1500	200
480	1700	1500	47290,64

**Fuente:** Autores

**Tabla 6.**

Consumo del motor con el sistema Bi-Fuel con carga

<b>Tiempo (minutos)</b>	<b>Revoluciones</b>	<b>Aumento de RPM</b>	<b>Volumen (cc)</b>
2,58	1700	1800	200
480	1700	1800	38400

**Fuente:** Autores

Como se puede observar el ahorro es de aproximadamente del 27,3%, 2,4 galones de ahorro lo cual ratificamos con los cálculos antes realizados.

Para tener una mejor perspectiva se colocó un contador de Gasómetro, para registrar el consumo de un metro cubico por cada hora de operación del motor dual.

### **Discusión**

Se utilizó el método prueba y error para verificar el funcionamiento del motor con diferentes presiones de inyección de biogás.

**Tabla 7.**

Consumo de diésel

<b>Tiempo (minutos).</b>	<b>Revoluciones.</b>	<b>Volumen (cc).</b>
12	800	200
9,15	1100	200
7,23	1400	200

**Fuente:** Autores

**Tabla 8.**

Consumo del motor con el sistema Bi-Fuel a 43,51psi

<b>Tiempo (minutos)</b>	<b>Revoluciones</b>	<b>Aumento de RPM</b>	<b>Volumen (cc)</b>
20	800	1000	200
14	1100	1300	200
10	1400	1600	20

**Fuente:** Autores

Como se puede observar en las tablas 7 y 8 las variaciones en consumo son considerables, se evidencia un reemplazo del 40% a una presión de 3 bar del compresor de aire,  $\frac{1}{4}$  vuelta del caudal,  $\frac{1}{2}$  vuelta del flujo de biogás,  $\frac{3}{4}$  vuelta de las RPM del regulador en el bi-fuel.

El motor experimento una fuerte vibración, la revolución subieron un 10% y el humo en la salida del tubo de escape era muy azulado en grandes cantidades de lo usual, además el motor en un cierto tiempo experimento subidas y bajadas semejantes a una onda sinusoidal. En la tabla 9 y 10 se muestran los valores a menor presión.

**Tabla 9.**

Consumo de diésel

<b>Tiempo (minutos)</b>	<b>Revoluciones</b>	<b>Volumen (cc)</b>
13	800	200
10	1100	200
7	1500	200

**Fuente:** Autores

**Tabla 10.**

Consumo del motor con el sistema Bi Fuel a 25psi

<b>Tiempo (minutos)</b>	<b>Revoluciones</b>	<b>Aumento de RPM</b>	<b>Volumen (cc)</b>
19	800	900	200
13	1100	1200	200
9	1500	1600	200

**Fuente:** Autores

Se puede notar que el porcentaje de remplazo bajo al 31,58% a 25 PSI de presión, el motor también disminuyo su vibración, los humos ya bajaron su tonalidad, y el humo igual bajo su volumen, su variación sinusoidal también bajo.

El kit Bi-Fuel también se lo probó con un motor diésel que disponía en su sistema un turbo alimentador, el motor trabajó en muy buenas condiciones y a los 90 psi que entrega el compresor, con esto se pudo comprobar que el equipo funciona para los dos sistemas sin ningún problema.

¿Cómo se puede mejorar la calidad del biogás?

Para verificar el funcionamiento del filtro de H<sub>2</sub>S se realizó una cromatografía antes de la entrada del filtro y otra después del mismo obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 11.**

Resultado de la cromatografía antes del filtro de H<sub>2</sub>S

<b>Componente</b>	<b>% Peso</b>	<b>% Moles</b>
Nitrógeno	5,46	5,26
Metano	31,14	52,41
CO <sub>2</sub>	59,49	36,49
Agua	3,9	5,84
Densidad Relativa	0,94	
Peso Molecular Prom. (g/gmol)	26,99	
Poder Calorífico del gas kJ/m <sup>3</sup>	465933,146	

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Instrumental Escuela Politécnica Nacional, 2017

**Tabla 12.**

Resultado de la cromatografía después del filtro de H<sub>2</sub>S

<b>Componente</b>	<b>% Peso</b>	<b>% Moles</b>
Nitrógeno	7,72	6,56
Metano	45,63	67,14
CO <sub>2</sub>	44,27	23,74
Agua	1,3	1,71
Densidad Relativa	0,81	
Peso Molecular Prom. (g/gmol)	23,36	
Poder Calorífico del gas kJ/m <sup>3</sup>	907176,927	

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Instrumental Escuela Politécnica Nacional, 2017

Se puede apreciar el buen funcionamiento de filtro H<sub>2</sub>S además que el poder calorífico aumenta considerablemente en un 1,94%.

## Conclusiones

El sistema bi –fuel implementado alcanzó un valor cerca del 30% del poder calórico estimado en los cálculos. La adecuación del sistema de transporte de biogás y filtrado mejoró la calidad de biogás.

El sistema se puede implementar en motores diésel turbo alimentados y puede trabajar sin problemas

Los costos de autoabastecimiento del motor con el sistema bifuel son de 522 dólares, es decir su funcionamiento es más barato que utilizar un motor eléctrico.

A pesar que se escogió un compresor de aire de 5,1 CFM menor al valor calculado 6CFM no disminuyó el rendimiento del sistema

El biodigestor puede entregar un volumen de hasta 23m<sup>3</sup> por hora a 1 Mbar de presión a 20°C, condiciones óptimas ya que el fabricante del Bi-fuel indica que la presión requerida mínima es de 120kPa a temperatura ambiente de 20°C, y el volumen dependerá del consumo de motor a diésel.

El filtro de H<sub>2</sub>S que se implemento es adecuado para el proyecto y permite que el biogás incremente su poder calorífico y de así incrementar el nivel de ahorro de combustible.

### Referencias

Deublein, D., & Steinhauser, A. (2008). *Biogas from waste and renewable resources An introduction*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co KGaA.

Gerschler, S. H. (1985). *Tecnología del automóvil*. Barcelona, España: Reverté.

*Gestión a la Electrónica Diesel*. (16 de octubre de 2012). Recuperado de [www.aficionadosalamecanica.net/gestion\\_electronica\\_diesel.htm](http://www.aficionadosalamecanica.net/gestion_electronica_diesel.htm)

Gobierno de Chile, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación e la Agricultura, Global Environment Facility (2011). *Manual de Biogás*. Santiago de Chile, Chile: Proyecto CHI/00/G32

Kates, E. J. (1982). *Motores diésel y de gas de alta compresión*. Barcelona, España: Reverté.

Max, T. (2 de julio de 2014). *Partes del turbo*. Recuperado de <http://turbomax.blogdiario.com/categoria/turbocompresores>

Moncayo, G. (2011). *Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás*. Berlín, Alemania: Aqualimpia Beratende Ingenieure.

Oñate, J. C. (2013). *Diseño de un biodigestor para el tratamiento de aguas y producción de biogás*. Latacunga , Cotopaxi, Ecuador : ESPE.

## Evaluación del potencial energético de la producción de biogás en el relleno sanitario del cantón Salcedo

**Enver Rodrigo Quintana Oyos**

Universidad Técnica de Cotopaxi  
jocksha85@gmail.com

**Marco Aníbal León Segovia**

Universidad Técnica de Cotopaxi  
Marco.leon@live.com

**Manuel Ángel León Segovia**

Universidad Técnica de Cotopaxi  
manuel.leon@utc.edu.ec

**Luigi Orlando Freire Martínez**

Universidad Técnica de Cotopaxi  
luigi.freire@utc.edu.ec

### Resumen

Debido a la contaminación ambiental que existe actualmente, el ser humano ha buscado nuevas fuentes de energías renovables para satisfacer sus necesidades, el relleno sanitario del cantón Salcedo es el centro de estudio, ya que existe un potencial energético de biogás producido, con lo cual se ha implementando un sistema de extracción captando un promedio de  $116 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$  ( $4100 \text{ ft}^3 \text{ día}^{-1}$ ) de biogás. Utilizando la aplicación del modelo biogás diseñado por la Protección Ambiental de los Estados Unidos de América EPA US, para el año 2015 existe una producción de biogás de  $3.2 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ . Las cromatografías del biogás realizadas indican en promedio un contenido de Metano ( $\text{CH}_4$ ) 53%, Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) 43%, Nitrógeno (N) 2% y el resto de componentes menores al 2%, con un poder calorífico de  $19.2 \text{ MJ m}^{-3}$ . Con los resultados obtenidos se propone utilizar este recurso en un sistema de evaporación de lixiviados con una capacidad de  $0.15 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  como primera opción, y como propuesta alternativa, la implementación de un sistema de generación eléctrica de 10kW para la iluminación del sitio de disposición final.

**Palabras clave:** Energías alternativas, Potencial energético, Sistema de evaporación de lixivianos, Generación eléctrica, Iluminación.

### Abstract

Due to the high pollution that currently exists, the human being has researched new sources of alternative energy to satisfy their needs, the sanitary landfill in Salcedo – Ecuador is the place of study, due to the fact that there is a waste of potential energy of biogas generated. Implementing an extraction system was possible to capture an average of  $116 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$  (4100 Standard Cubic Feet Day SCFD). With the application of Biogas Ecuador Model developed by EPA US, for the year 2015 exist a production of biogas of  $3.2 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ . The Chromatography of biogas shows an average of Methane ( $\text{CH}_4$ ) 53%, Carbon Dioxide ( $\text{CO}_2$ ) 43%, Nitrogen (N) 2% and other components less than 2%, with a Net Heating Value  $1782.65 \text{ kJ m}^{-3}$ . With those results, it is proposed to use the resource in an evaporation of lixiviates system of  $0.15 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  of capacity as a first option. And the second proposal, to implement a power generation system of 10 kW, which could be used for lighting the final disposal site.

**Keywords:** Alternative energy, Energy potential, Evaporation of lixiviates system, Electricity generation, Lighting.

## Introducción

En el mundo actual la contaminación se ha vuelto uno de los principales problemas para el medio ambiente y la generación de basura domiciliaria, es uno de los principales problemas que tiene la población, ya que esta contaminación además de otras, han provocado la reducción del grosor de la capa de ozono con el aumento drástico de temperatura global y muchos efectos más y si bien, estamos frente a nuevas tecnologías para un mundo mejor, la introducción al campo de producción de biogás para el uso de energía eléctrica a partir de los desechos acumulados en los rellenos sanitarios es una gran alternativa (Guerrero, Gerardo, & Gallegos, 2010).

En respuesta al compromiso internacional sobre producción y consumo sostenible, en América Latina y el Caribe se han iniciado una serie de acciones tendientes a fortalecer la estrategia regional con vistas a la sostenibilidad a partir de la modificación de sus modos de producción y consumo, por tal razón durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, se dio forma a la producción y el consumo sostenibles en la Agenda 21 y en ese documento se establece que “las principales causas de que continúe deteriorándose el medio ambiente mundial son las modalidades insostenibles de producción y consumo, particularmente en los países industrializados, que son motivo de grave preocupación y que agravan la pobreza y los desequilibrios” (Organización de las Naciones Unidas, 2010).

LMOP (Landfill Methane Outreach Program) desarrolló el Modelo de Biogás Ecuador, para ayudar a operadores y dueños de rellenos sanitarios a evaluar la viabilidad y los beneficios en la captación y uso del biogás como fuente de energía. El modelo fue calibrado basado en la experiencia obtenida, mediante la ejecución de dos estudios de prefactibilidad y ensayos de bombeo de gas llevados a cabo en el relleno Las Iguanas en Guayaquil y relleno Pichacay en Cuenca donde adicionalmente a los informes de evaluación de otros tres sitios en los parámetros del modelo reflejan los altos contenidos orgánicos y de humedad en los desechos de Ecuador (EPA, Environment Protection Agency, 2009).

El relleno sanitario de Salcedo se encuentra ubicado en el sector de Jachaguango al norte del cantón, se encuentra en funcionamiento hace siete años y su proyección de operación es para 30 años y en la actualidad se capta en promedio 18 toneladas diarias de basura en el que existen 6 pozos o teas para incinerar el biogás de los cuales solo 3 están operativos, ya que los otros se encuentran taponados. Actualmente existen 8 pozos adicionales pero aún no emanan biogás, ya que son parte de la segunda etapa de captación de residuos al surgir la necesidad de determinar el potencial energético que se tiene en el relleno sanitario, para darle un uso dependiendo de la capacidad de producción que en la actualidad existen y con una proyección que se obtendría en el futuro con lo cual la investigación se basa en determinar la calidad del biogás, entregado por los pozos y buscar soluciones factibles que permitan aprovechar el potencial del mismo producido por la basura del relleno. Se medirá la capacidad de producción que existe y la proyección que se obtendría en el futuro.

## Introducción al problema

Con la generación elevada de residuos dentro de las urbes se ha determinado que esta es una fuente de energía renovable que se la desaprovecha en gran manera por no tener un manejo adecuado de los residuos y desconocimiento en cómo aprovecharlos como una fuente de energía, que disminuirá la contaminación ambiental y el efecto invernadero por la generación de gases contaminantes.

## Metodología

Se han realizado mediciones diarias durante 14 días en cada pozo, disponible para obtener una media de captación de biogás. Se han tomado muestras para conocer la composición del biogás y su poder calorífico. En la figura 1 a se muestran las imágenes del relleno sanitario.



**Figura 1.**

Vista panorámica del sitio de disposición final

**Fuente:** Edwin Daniel Albán Castellanos Año 2015

Los equipos utilizados en el proceso de extracción son:

- Medidor de flujo tipo Vortex ROSEMOUNT.
- Acumulador de Gas
- Generador Eléctrico
- Sistema de tuberías.
- Indicadores presión.
- Aplicación Excel para la proyección de la producción de biogás.
- GPS, ayudará a determinar la ubicación exacta del relleno sanitario.
- Cromatógrafo, que analizará el biogás y determinará la composición y su poder calorífico
- Bases de datos especializados.

### Acumulador de biogás

Es un tanque elaborado con tol, el cual permite acumular el biogás a una presión promedio de 344,7 kPa. Este elemento ha sido muy necesario ya que para poder tomar las muestras y realizar las mediciones se las debe hacer a una presión superior a los 208.6kPa y siendo la presión de salida del pozo demasiado baja los elementos de medición no son capaces de leer esos valores.

Un manómetro instalado en la parte superior permitió medir la presión en el interior del tanque, punto importante de referencia para la totalización del flujo de gas, en la figura 2 se muestra el equipo.



**Figura 2.**

Acumulador de biogás

**Fuente:** Edwin Daniel Albán Castellanos Año 2015

### **Compresor de biogás**

Para la compresión del biogás se utilizó un compresor fabricado en Francia, el cual toma el biogás del pozo a baja presión y lo ingresa al acumulador. Este equipo tiene la capacidad de comprimir hasta 1.03MPa.

A la descarga se instaló una válvula de venteo de condensados para evitar el ingreso al tanque de este líquido y obtener muestras más confiables para la cromatografía y la medición sea más exacta. En la figura 3 se muestra el equipo utilizado.

### **Medidor de flujo tipo Vortex**

Para la medición de flujo se utilizó un medidor de flujo tipo Vortex. El cual contabiliza el gas captado a la descarga del acumulador. Este equipo fue pre calibrado para medir gases, ya que según sus características también es capaz de medir líquidos y posee un display que muestra continuamente los valores de flujo instantáneo y flujo total medido, en la figura 3 se puede observar el equipo instalado en campo.



**Figura 3.**

Medidor de flujo tipo Vortex

**Fuente:** Edwin Daniel Albán Castellanos Año 2015



### **Instrumentación y tuberías**

Un sistema de tuberías con diferentes juegos de válvulas se utilizó para la captación, medición y toma de muestras del biogás. Se utilizaron únicamente tuberías y accesorios tipo PVC que fueron suficientes para la aplicación.

### **Generador de energía**

Debido a que en el sitio de disposición final no existe una toma de energía cercana para la alimentación de los diferentes equipos, surgió la necesidad de utilizar un generador a gasolina de la marca Gutemberg de 8.5 kW de potencia. El cual energizó al compresor y a la fuente de 110VAC/24 VDC que alimenta al medidor de flujo.

### **Mediciones**

El relleno sanitario al momento tiene disponibles 6 pozos que sirven para evacuar/quemar el biogás que se genera producto de la descomposición de la basura, ya que debido a los trabajos que diariamente se realizan in situ, tres de ellos han quedado taponados por la arena que cubren los residuos y por lo que nos centramos únicamente en los tres que actualmente están operativos ya que actualmente se ha iniciado la segunda etapa de captación de basura en el relleno y no se han considerado estos nuevos pozos para el caso de estudio ya que aún no se registra presencia de biogás.

Se han realizado mediciones diarias en cada pozo durante catorce días continuos entre los meses de octubre, noviembre y diciembre por la disponibilidad de los equipos utilizados para la medición.

Mientras se realizaban las mediciones en un pozo, los dos restantes se encontraban quemando biogás. Para realizar las mediciones se hicieron ciertas modificaciones a los pozos de venteo pasivo normal y pozo de venteo modificado. En la figura 4 se muestra el sistema implementado en campo para la extracción del biogás.



***Figura 4.***

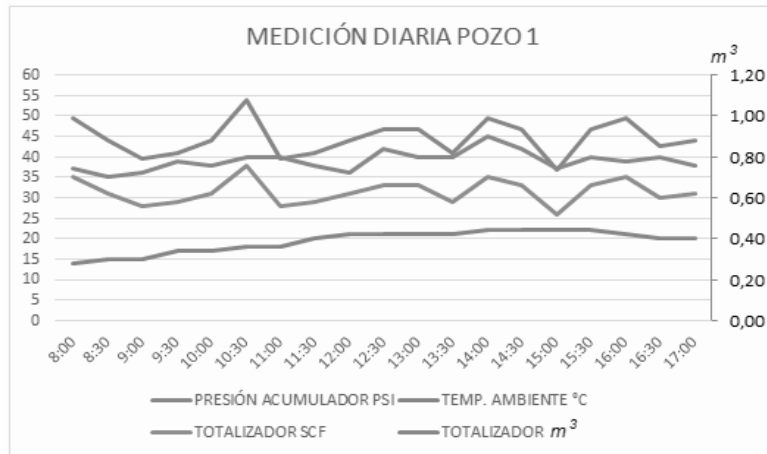
Sistema de extracción de biogás

**Fuente:** Edwin Daniel Albán Castellanos Año 2015

Una vez instalado el sistema con todas las adecuaciones se realizaron las mediciones en los pozos existentes. Los datos obtenidos son a partir de las 08:00 hasta las 17:00. No se realizaron mediciones en las noches por las condiciones del lugar y los datos totales diarios han sido calculados en base a la información obtenida.

### Resultados

Se han realizado mediciones diarias durante dos semanas en cada pozo. En la figura 5 se muestran la tendencia de las mediciones realizadas durante un día en el pozo 1. Las mediciones se las realizaron entre el 5 y el 18 de octubre.



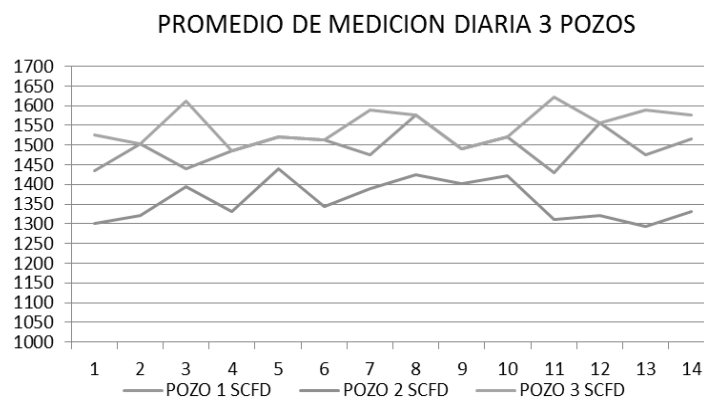
**Figura 5.**

Tendencia de medición de un día Pozo 1

**Fuente:** Edwin Daniel Albán Castellanos Año 2015

Las mediciones en el pozo 3 se las realizaron a partir del 7 de diciembre al 20 de diciembre. Respecto a los otros dos pozos medidos este es del que ligeramente se pudo extraer mayor cantidad de biogás según los datos obtenidos.

En la figura 6 se puede apreciar la tendencia de captación de los tres pozos durante el tiempo de medición.



**Figura 6.**

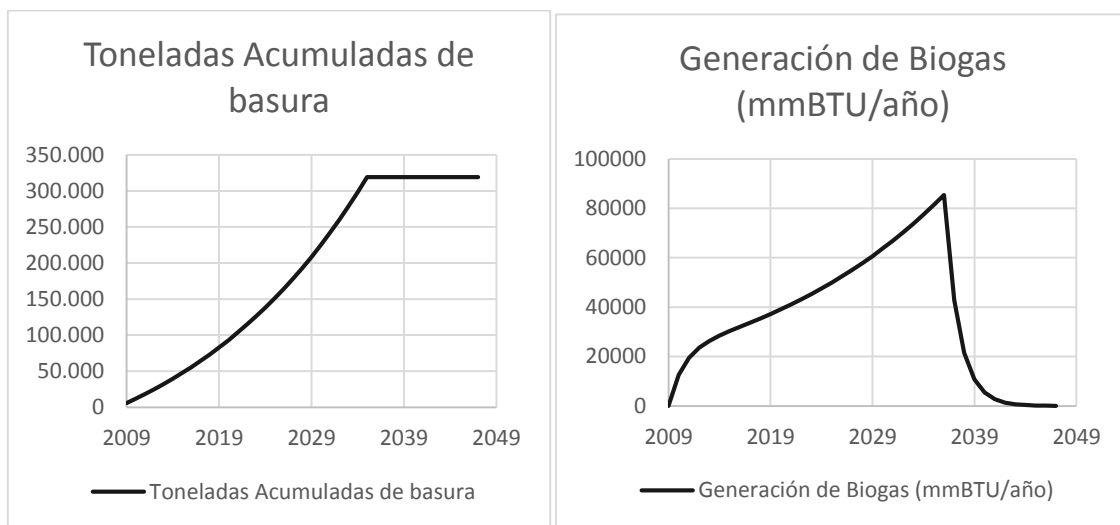
Tendencia de medición diaria 3 pozos

**Fuente:** Edwin Daniel Albán Castellanos Año 2015

Como resultado de las mediciones se ha podido captar en promedio con el sistema implementado un promedio de 4100 Standart Cubic Feet Day SCFD ( $116 \text{ m}^3$ ) de biogás por día y esto como resultado de la sumatoria de los 3 pozos intervenidos. Por lo cual las propuestas estarán acorde a estos valores.

### Discusión

Dentro de la discusión podemos establecer, que mediante la producción de biogás se puede dar un uso adecuado a esta fuente de energía, para que por medio de esta podamos obtener resultados positivos dentro como la producción de energía eléctrica y tener como punto inicial, una fuente generadora de electricidad para el propio relleno y por ello hemos obtenido los siguientes resultados, que se detallan en la siguiente tabla la producción que biogás y como se lo puede manejar en su recuperación durante los años de vida del relleno sanitario Jachaguango del cantón Salcedo.



a) Toneladas acumuladas de basura

b) Generacion de Biogás (mmBTU/año)

**Figura 7.**

Tendencia de medición de toneladas acumuladas de basura vs generación de Biogás (mmBTU/año)

### Conclusiones

Se logró obtener la caracterización de los residuos que ingresan al sitio de disposición final con un 58.66% de materia orgánica, punto de partida importante para el desarrollo de la investigación, ya que con esta información se pudo predecir que si existía un gran potencial de metano.

Con el sistema de extracción implementado se logró captar en promedio diario 4100 Standart Cubic Feet Day SCF o  $116 \text{ m}^3$  de biogás, en base a este valor se pudieron plantear dos propuestas térmicas sostenibles, que pueden ser aplicadas para darle un uso a este importante recurso que no esta siendo aprovechado.

Con las cromatografías realizadas al biogás, se comprobó el alto concentrado de gas metano existente que fue en promedio 53% con un poder calorífico promedio de  $19.2 \text{ MJ/m}^3$ , con lo cual su uso para generación eléctrica es aplicable.

Al realizar el modelamiento nos indica que existe una producción actual de 4608 m<sup>3</sup>/día frente a 116 m<sup>3</sup>/día que se captó, estos valores están acorde al sistema de captación implementado ya que no existen pozos dedicados para la captación del recurso.

Con el valor obtenido en las mediciones, se logró proponer dos aplicaciones importantes para el uso del biogás producido, la primera su uso en un evaporador de lixiviados con capacidad de 150 l/h y la segunda un sistema de generación de 10kW, realizando un análisis se determinó que la aplicación más adecuada es el evaporador de lixiviados.

En la actualidad existe un gran potencial de biogás en el relleno sanitario del cantón Salcedo, sin embargo, este valor incrementará mucho más en el futuro ya que apenas se está iniciando la segunda etapa de captación de residuos y crece aceleradamente.

### **Agradecimiento**

El agradecimiento va dirigido al Msc. Ing Edwin Daniel Alban Castellanos, por la contribución y desarrollo del presente trabajo de investigación realizado dentro del cantón Salcedo, ya que con este tipo de investigación se podrá realizar mejoras en proyectos de generación eléctrica a base del biogás, que producen este tipo de rellenos sanitarios y enfocarnos en tener una nueva visión de producción de energía eléctrica y permitirnos dar a conocer el desarrollo del trabajo de investigación realizado.

### **Referencias**

Agembur (27 de Octubre de 2015) Recuperado de <http://www.agenbur.com/es/contenido/index.asp?iddoc=410>

Asamblea Constituyente. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Quito, Pichincha, Ecuador.

Benavides, N. (2009). *Modelo de gestión integral de Rellenos Sanitarios manuales para poblaciones entre 15.000 Y 30.000 habitantes en el Ecuador*. Quito, Pichincha, Ecuador.

Bonilla, W. (2013). *Determinación de la potencialidad de la biomasa generada en la hacienda Espinoza sector Cumbijín cantón Salcedo-2013 para cubrir la demanda del GLP, diseño tecnológico de un biodigestor*.

Camargo, Y., & Velez, A. (2009). *Emisiones de biogás producidas en Rellenos Sanitarios*. Barranquilla, Colombia.

Colmenares, W., & Santos, K. (2009). *Generación y manejo de gases en sitio de disposición final*. Recuperado de [http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno\\_sanitario](http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario)

Crisanto, L. (2013). *Estudio de factibilidad para implementar una central eléctrica aprovechando el biogás generado por el Relleno Sanitario del Inga*. Quito, Pichincha, Ecuador.

Duque, C. (2012). *Aprovechamiento del biogás en el Relleno Sanitario de Ambato*. Ambato, Tungurahua, Ecuador.

Emison (2016). *Empresa distribuidora de equipos de biogás Emison*. Barcelona, España.

- EP (2009). *Environment Protection Agency*. Recuperado de <http://www.epa.gov/lmop/international/ecuador.html>
- EPA (2009). *Modelo biogás Ecuador, versión 1.1*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Flores, S. (2009). *Caracterización del biogás en trece sitios diferentes de RSU en México*. México, México.
- GAD Municipal Salcedo (2015). *Control diario de residuos sólidos*. Salcedo, Cotopaxi, Ecuador.
- GAD Municipal Cantón Salcedo (2015). Salcedo, Cotopaxi, Ecuador.
- Guerrero, A., Gerardo, V., & Gallegos, D. (2010). *Escuela Superior Politécnica del Litoral. Red Repositorio de Acceso Abierto del Ecuador*. Recuperado de: [http://rraae.org.ec/Record/0003\\_d30c7a0022ba9af8bc4f4de7eb7040f5.pdf](http://rraae.org.ec/Record/0003_d30c7a0022ba9af8bc4f4de7eb7040f5.pdf)
- Hilbert, J. (2003). *Manual para la producción de Biogás*. Instituto de Ingeniería Rural.
- IDEA (2009). *Instituto para la Diversificación y Aborro de la Energía*. Recuperado de [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10920\\_Instalaciones\\_Biomasa\\_Term\\_edificios\\_2009\\_b6fe691f.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10920_Instalaciones_Biomasa_Term_edificios_2009_b6fe691f.pdf)
- IDEA (2007). *www.idae.es*. Recuperado de [http://dl.idae.es/Publicaciones/10374\\_Energia\\_de\\_la\\_biomasa\\_A2007.pdf](http://dl.idae.es/Publicaciones/10374_Energia_de_la_biomasa_A2007.pdf)
- INHAMI (2014). *Anuario climatológico del Ecuador*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Jiménez, A. (2012). *Propuesta para el manejo de lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi*. Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.
- Lalvay, Vidal. (2008). *Estudio técnico económico de una planta de generación eléctrica a base de biogás*. Santa Isabel, Azuay, Ecuador.
- Methate to Markets (2008). *Informe de evaluación Relleno Sanitario Doña Juana*. Bogotá, Colombia: SCS Enginners.
- Microphilox (2009). *Aprovechamiento energético de biogás de de pósitocontrolado mediante microturbinas y eliminación biológica de ácido sulfhídrico y siloxanos*. Barcelona, España.
- Mola, C. (2015). *Chongqing Mola Technology*. Co Ltd. Chongqing, China.
- Monreal, J. (2009). *Recuperación de biogás de Rellenos Sanitarios en Santiago de Chile*. Santiago, Chile.
- Morales, L. A. (2009). *Análisis de los parámetros y selección de hornos para la combustión interna*. Guayaquil, Guayas, Ecuador.

ONU (2010). *Informe para la decimo octava sesión de la Comisión sobre el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas*. Santiago de Chile, Chile: Publicación de las Naciones Unidas.

Orbe, S. (2012). *Diseño de un proyecto de gestión integral de residuos sólidos domésticos para la Parroquia de Guayllabamba*. Quito, Pichincha, Ecuador.

Salvador, A. R. (2010). *Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles*. Madrid, España.

Schmidt, F. (2009). *Valoración del biogás en un Relleno Sanitario*. Medellín, Colombia.

Solarizate.Org. (2012). *Aprende a usar la energía solar*. Recuperado de <http://www.solarizate.org/pdf/castellano/fichasalumnos/ficha11.pdf>

# Microcentral de reacción química para la generación de electricidad a partir de hidrógeno y oxígeno

**Robert Gonzalo Piedra Pineda**

Universidad Politécnica Salesiana

rpiedra@est.ups.edu.ec

**Cecilia Catalina Grunauer Espinoza**

Universidad Politécnica Salesiana

cgrunauer@ups.edu.ec

**Gary Omar Ampuño Avilez**

Universidad Politécnica Salesiana

gampuno@ups.edu.ec

## Resumen

La búsqueda constante de energías renovables, limpias, sustentable y eficiente que conlleva al descubrimiento de nuevas fuentes y tecnología para satisfacer la demanda energética, muchos de estos hallazgos necesitan ser construidos y probados para que puedan ser analizados y optimizados. Uno de los más prominentes son las celdas de combustible, las cuales tiene la capacidad de transformar la energía química en energía eléctrica a través de reacciones químicas. En este artículo se describe la construcción de un prototipo a escala, de una central de reacción química para la producción de energía, la cual emplea una celda combustible con membrana de intercambio protónico, con una potencia máxima de generación de 100W, alimentada continuamente de hidrógeno y oxígeno. Para este desarrollo se empleó una metodología exploratoria con enfoque experimental. Se concluyó que la microcentral, no fue eficiente debido a que esta presento un desbalance energético, producto del mayor consumo de energía por parte del electrolizador para generar el hidrógeno.

**Palabras claves:** Celda de combustible, Hidrógeno, Electrólisis, PEM.

## Abstract

The constant search for renewable, clean, sustainable and efficient energy that leads to the discovery of new sources and technology to meet energy demand, many of these findings need to be built and tested so that they can be analyzed and optimized. One of the most prominent are fuel cells, which has the ability to transform chemical energy into electrical energy through chemical reactions. This article describes the construction of a scale prototype of a chemical reaction center for the production of energy, which uses a fuel cell with proton exchange membrane, with a maximum power of 100W, fed continuously hydrogen and oxygen. For this development, an exploratory methodology with an experimental approach was used. It was concluded that the microcentral was not efficient because it presented an energy imbalance, product of the greater consumption of energy by the electrolyzer to generate the hydrogen.

**Keywords:** Fuel cell, Hydrogen, Electrolyze, PEM.

## Introducción

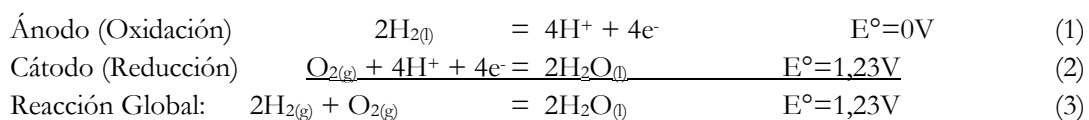
La creciente necesidad energética mundial, ha llevado a la dependencia energética de los combustibles fósiles, la cual se ha visto incrementada a pesar de los avances tecnológicos, y con esto al aumento de la

contaminación, al calentamiento global, al deterioro del planeta y sus seres. Es por ello que se debe fomentar el estudio de las energías renovables y potenciar su utilización a pequeña y gran escala. La finalidad de este proyecto es experimentar con la tecnología de las celdas de combustible tipo PEM, así como también incursionar con el uso del hidrógeno por ser una fuente de combustible limpia y renovable, la cual es considerada por muchos expertos, como el combustible que desplazará al carbono y derivados como fuente energética (Wilberforce et al., 2017). Para ello se construye una microcentral empleando como núcleo central a la celda de combustible con alimentación directa de hidrógeno, producido mediante electrolisis alcalina con hidróxido de potasio en solución como electrolito.

Una central generadora de energía eléctrica es aquella que tiene como función transformar alguna clase de energía (química, cinética, térmica, etc.) en energía eléctrica. La Organización Latinoamericana de Energía, clasifica a las centrales según su potencia instalada. Una microcentral es aquella central que su potencia instalada está comprendida entre 0-50kW (OLADE, 1980). Según Las celdas de combustible son dispositivos electroquímicos, que tienen la capacidad de transformary captar directamente la energía producida a partir de reacciones químicas, en energía eléctrica, (Thangavelautham, Strawser, & Dubowsky, 2017), sin la intervención de procesos adicionales y suprimiendo el ciclo termodinámico intermedio impuesto por Carnot, alcanzándose así elevados rendimientos energéticos (Moratilla & Linares, 2007). Las celdas tipo PEM, alcanzan eficiencias entre el 60-65%, mayores a las obtenidas por las máquinas térmicas (Thangavelautham et al., 2017).

Existen diferentes tipos de pilas de combustible dependiendo del tipo de electrolito (Baroutaji, Carton, Sajjia, & Olabi, 2016). Con el fin de obtener tensiones de salida apreciables, varias celdas de combustible tienen que ser combinadas para obtener una pila de pilas de combustible (Mebarki, Rekioua, Mokrani, Rekioua, & Bacha, 2016). Son dispositivos ambientalmente amigables, debido a que produce cero emisiones de gases invernaderos y de calentamiento global, además son portables, de bajo mantenimiento, no dependen de una fuente externa de energía eléctrica y producirán energía siempre que tengan una fuente de energía renovable que la alimente continuamente (Thangavelautham et al., 2017). Actualmente las industrias automotrices optan por este tipo de tecnología para el desarrollo de los nuevos vehículos eléctricos (Mebarki et al., 2016)(Wilberforce et al., 2017).

Las celdas de combustible tipo están constituidas por dos electrodos separados por un electrolito, en el ánodo se ioniza el hidrógeno, cada hidrógeno libera doselectrones los cuales atraviesan un circuitoeléctrico y generándose la electricidad (Vielstich, Lamm, Gasteiger, & Yokokawa, 2010). Por otro lado, los iones hidrógeno llegan al cátodo pasando por el electrolito y se combinan con el oxígeno proveniente del aire (O<sub>2</sub>), el cual tienen una concentración del 21% aproximadamente, y los electrones que recorrieron el circuito, produciéndose H<sub>2</sub>O (agua). Las reacciones electroquímicas que tienen lugar en los electrodos se detallan en las ecuaciones (1), (2), (3). La ecuación global de la celda muestra que el proceso es espontáneo generándose por cada dos hidrógenos y un oxígeno ambos en estado molecular, dos moléculas de agua (Chang & Goldsby, 2016).

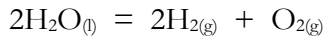




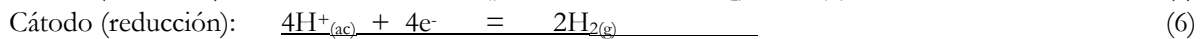
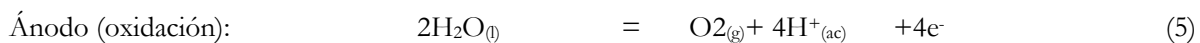
El empleo del hidrógeno en este tipo de tecnologías ofrece importantes beneficios tanto energéticos como medioambientales (Dos Santos et al., 2017). Su combustión solo libera vapor de agua libre de CO<sub>2</sub>. (Moratilla & Linares, 2007)

El hidrógeno es uno de los elementos más abundantes de la tierra y universo, se encuentra formando parte de las cadenas hidrocarbonadas de toda materia orgánica, y del agua. Según, (Moseley & Garche, 2015), es muy raro encontrarlo en su forma molecular. Razón por la cual este debe ser aislado para su purificación y utilización. Existen varias alternativas para su obtención siendo la electrólisis del agua uno de los procesos más importantes y ampliamente utilizados para la producción de hidrógeno (Rosen & Scott, 1992)(Dos Santos et al., 2017). A diferencia de otros métodos la electrólisis del agua genera hidrógeno y oxígeno puro, pero solo el hidrógeno generado se considera como útil (Moseley & Garche, 2015).

El principio de la electrólisis comprende la descomposición catalítica del agua en hidrógeno y oxígeno usando electricidad (Dos Santos et al., 2017). Esta es una reacción endotérmica no espontánea y por lo tanto requiere consumir grandes cantidades de energía para la viabilidad las reacciones redox y lograr descomponer el agua(Chang & Goldsby, 2016), (Dos Santos et al., 2017). La ecuación global de descomposición del agua por este proceso, esta dada por: Ec.(4)



El proceso de electrólisis consisten en agua sometida a una fuente energía externa. Debido a que el agua es una sustancia pobremente conductora es necesario la adición de un electrolito el cual aumentará su conductividad (Dos Santos et al., 2017). Las sustancias alcalinas son las mas empleadas entre las que se encuentran el hidróxido de potasio o hidróxido de sodio (Dos Santos et al., 2017). La solución es colocada en un tanque al cual se le introducen dos electrodos conectados a una fuente de corriente directa (DC). Con el voltaje suministrado, se dan las reacciones redox que no son espontáneas, en el cátodo se produce el hidrógeno (electrodo negativo) y el oxígeno en el ánodo (electrodo positivo) (Moseley & Garche, 2015). Las reacciones químicas producidas se detallan Ec (5), (6), (7).



Según, (Moseley & Garche, 2015), las soluciones electrolíticas alcalinas son las mas utilizadas en aplicaciones industriales y las que dominan el mercado de los electrolizadores de agua. Estas emplean el hidróxido de potasio a una concentración del 20- 40% (m/m).

### Metodología

Se realizó una investigación exploratoria con un enfoque experimental. El prototipo fue construido manteniendo una estructura de cuatro fases: la purificación del agua, la generación del hidrógeno, la producción energética y aplicación de la energía eléctrica con la conversión de DC a AC, ver figura 1.

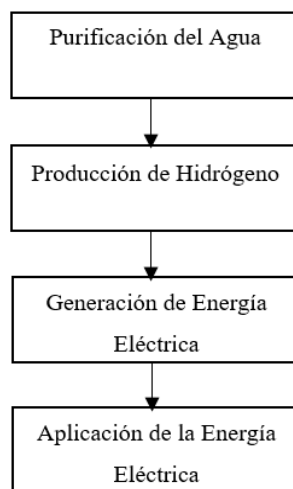
La etapa inicial parte desde un reservorio de agua con una capacidad máxima de 8 litros, donde se coloca el agua que irá al proceso, este reservorio cuenta con una bomba sumergible el cual impulsa el agua a través de

los filtros. El primer filtro es para retener sedimentos, seguido por un filtro de carbón activado y finalizando con un filtro desionizador. En la segunda etapa, a partir del agua filtrada se preparan 1400 ml de una solución alcalina con hidróxido de potasio a una concentración de 2.2 molar, esta es la concentración recomendada por el fabricante del electrolizador (Win, 2014). En este equipo se vierte la solución para que pueda ser descompuesta en oxígeno e hidrógeno. Solamente el hidrógeno es conducido hacia la celda de combustible. Esta etapa depende del trabajo de la celda y sus materias primas, esta toma el oxígeno directamente del aire, y solamente el hidrógeno debe de suministrarse continuamente. Se adquirió una celda tipo PEM serie H-100 con una potencia nominal de salida de 100W (Horizon, 2013).

Finalmente, se obtiene una corriente continua de valor nominal 8 amperios y un voltaje de salida de 12 voltios la energía, la cual se emplea de varias formas, directamente en DC para ser almacenada en baterías, etc. o a través de un inversor para ser transformada en AC, para esto existen tomacorrientes conectados al circuito para su evaluación, ver Figura 1. Todos estos equipos fueron colocados sobre un soporte metálico para armar el prototipo antes descrito.

Las variables de evaluación de la microcentral, fueron el flujo del generador de hidrógeno (ml/min), presión de entrada (MPa), consumo de la solución electrolítica (ml/h), resistencia. Se realizaron pruebas de carga, mediciones de voltajes y corrientes producidas y consumidas, potencia de salida.

En las pruebas de carga se conectó la salida de la celda a un banco de resistencias variables hasta 110 $\Omega$ , con el objetivo de analizar la generación de la microcentral y establecer las condiciones de operación de la celda de combustible; utilizando los datos de placa establecido por el fabricante; así como también se verificará la eficiencia de su funcionamiento. Se evaluó la razón del gasto de la solución electrolítica iniciando en 640ml para el inicio de la toma de datos el cual se realizó cada 30 minutos registrando el consumo.



**Figura 1.**

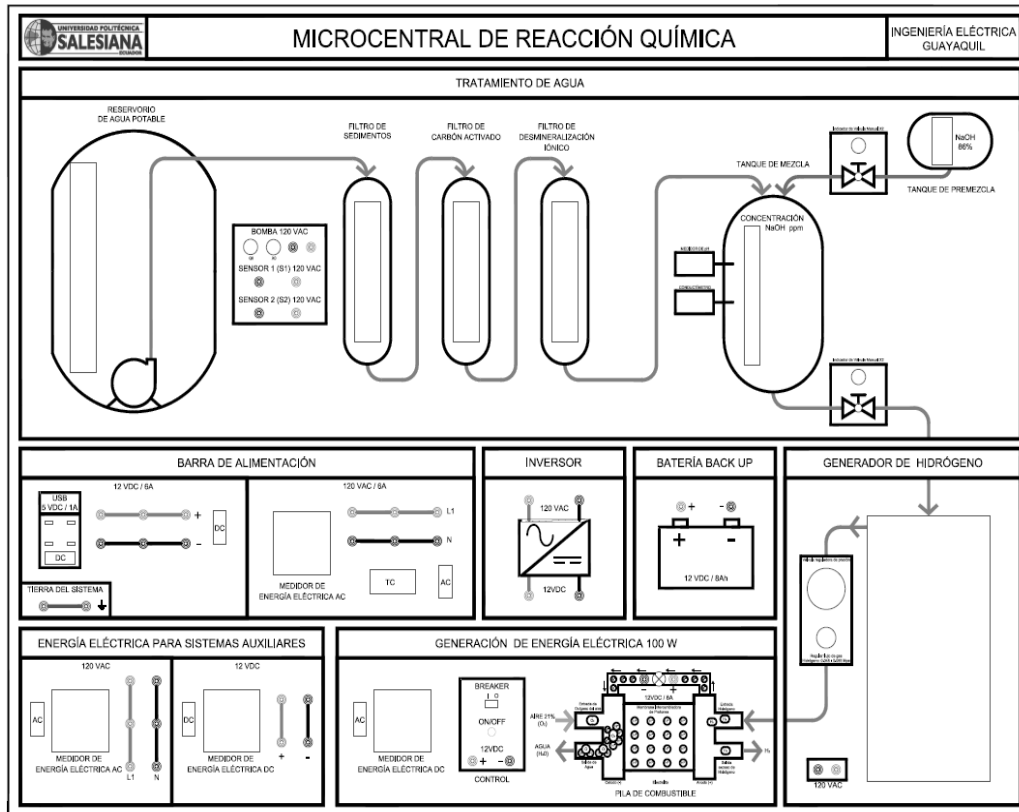
Diagrama de las etapas del proceso de la microcentral

**Fuente:** Autores

## Resultados

De lo anterior se logró colocar todos los componentes en un soporte metálico y se conectaron todos los elementos para que funcionen de manera continua. Iniciando por el tratamiento de agua y preparación de la

solución alcalina a una concentración de 2.2M mostrado en la parte superior, seguido por el equipo generado de hidrógeno, luego la celda tipo PEM y finalmente conectados a las barras de alimentación de salida. El resultado se observa en la figura 2



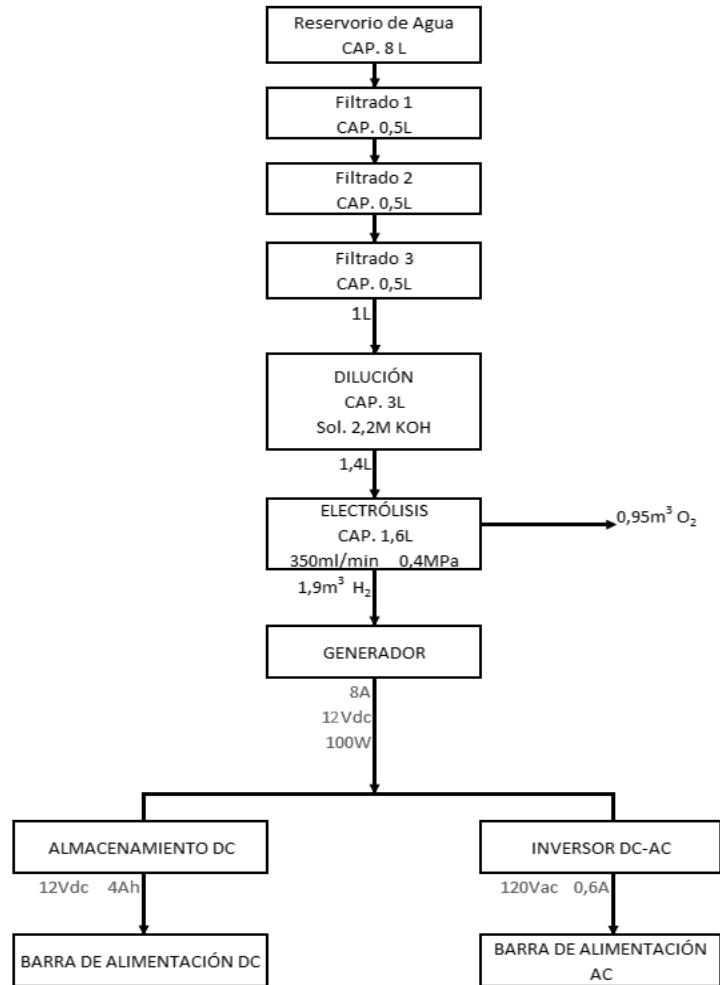
**Figura 2.**

Esquema de la microcentral de reacción química

**Fuente:** Autores

Los resultados obtenidos en la generación de energía eléctrica y los respectivos resultados de las mediciones, se encuentran determinados por el siguiente diagrama de procesos, mostrados en la Figura 3

El electrolizador, tiene un flujo de producción 350ml/min, a una presión de salida de 0.4MPa. A partir de 1400 L de solución alcalina se producen 1.9m<sup>3</sup> de Hidrógeno y 0.95 m<sup>3</sup> de oxígeno durante 84 horas de producción continua.

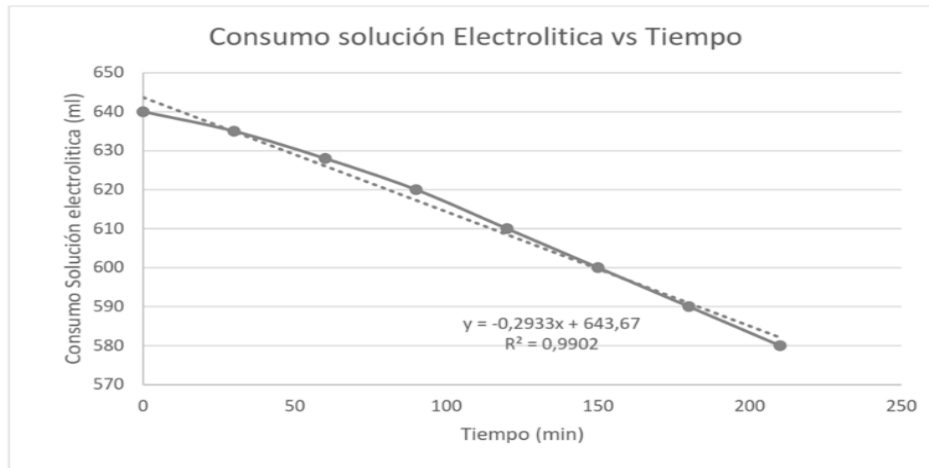


**Figura 3.**

Diagrama del proceso de la microcentral

**Fuente:** Autores

Se tomaron mediciones del consumo de la solución electrolítica cada 30 minutos, partiendo de un volumen inicial de 640 ml de solución. Los resultados se muestran en la tabla inferior. Ver Figura 4

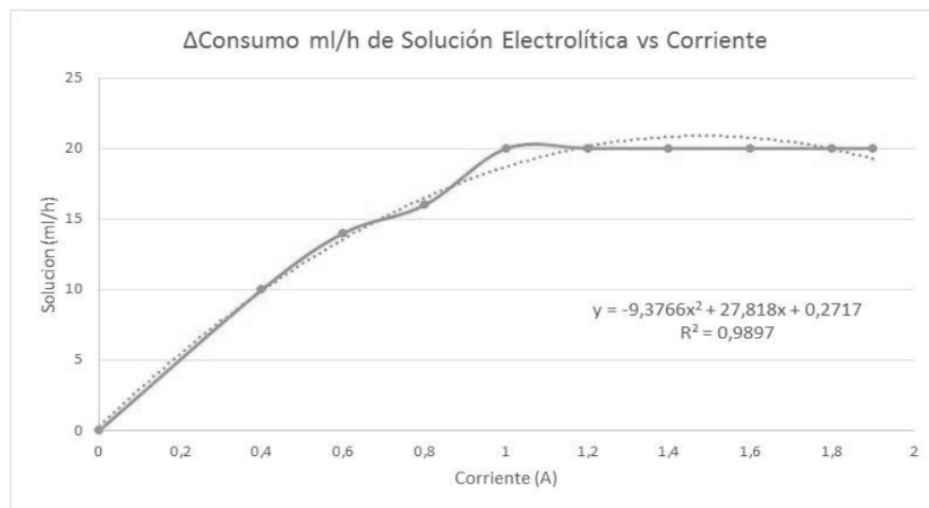


**Figura 4.**

Consumo de la Solución Electrolítica

**Fuente:** Autores

En la figura 5 se muestra el consumo de solución alcalina versus la producción de corriente de la celda. Se observa que la celda se estabiliza con consumo de 20 ml/h.



**Figura 5.**

Consumo de la solución electrolítica vs corriente

**Fuente:** Autores

Se realizó un balance energético de la microcentral, los resultados que se exponen en la tabla 1. Estos, muestran un consumo de potencia 206.6W en relación al generado por la celda 100W. Un 73% de la energía total necesaria por la microcentral es consumida por el electrolizador.

**Tabla 2.**

Balance energético de la microcentral

Equipos	Potencia consumida (W)	Porcentaje de Potencia consumida	Potencia generada (W)	Porcentaje potencia generada
Celda PEM			100	48%
Electrolizador	150	73%		
Control automatico celda	9.6	5%		
Bomba sumergible	32	15%		
Varios (sensores, contactores)	15	7%		

Fuente: Autores

**Discusión**

De acuerdo a lo indicado en la etapa de generación de hidrógeno, la salida del flujo de  $H_2$ , será regulado por una válvula manual, para controlar la sobre presión. Al aumentar el flujo del hidrógeno que ingresa a la celda esta aumenta la potencia de salida hasta un máximo de 100W y soporta cargas mayores.

Las celdas de combustible tienen 20 celdillas las que producen corriente directa, capaz de cargar a una batería externa de 4Ah, para la obtención de voltaje alterno (AC) se conecta un inversor que convertirá los 12VDC de la batería a 120VAC y se podrá conectar cargas inferiores a 72W, tales como focos, cargadores de celular en la barra de alimentación en AC, etc. La batería de 4Ah sirve como respaldo, también ayuda a proteger a la celda cualquier exceso de carga que se llegue a conectar. Cabe destacar que se colocó una toma de voltaje de 5 VDC para cargar teléfonos celulares.

En 210 minutos de generación se consume un total de 60 ml de solución electrolítica, quedando disponible 580 ml de solución electrolítica, lo cual nos indica que la microcentral tiene un promedio de consumo de 10 ml en cada 30 minutos de funcionamiento, considerando corrientes inferiores a 1,8 A. Si la corriente supera 1,8 A, el generador de hidrógeno no podrá satisfacer la demanda, debido a que la celda de combustible consumiría mayor flujo de gas hidrógeno que el generador no puede entregar, esto se debe que el recorrido de la tubería que transporta el gas hidrógeno desde el generador a la pila es mayor a 20 cm, por lo cual se pierde presión. Además, puesto que el generador produce un flujo de hidrógeno 350 ml/min y no de 1300 ml/min, como lo recomienda el fabricante de la celda (Horizon, 2013), el cual no pudo ser adquirido por su elevado costo, por lo que el electrolizador solo produce un 26,92% del hidrógeno que emplea la celda, es por ello que la celda solo logró una potencia máxima de 27,3W de su capacidad nominal de 100W.

La energía suministrada durante la electrólisis es ganada por la molécula de agua con baja energía, generando un hidrógeno molecular más energético, este libera la energía en el cátodo de la celda, por lo que se concluye que el trabajo del hidrógeno es la transferencia de electrones.

**Conclusiones**

Se verificó el funcionamiento de la celda tipo PEM consiguiendo resultados favorables, por otra parte, se consiguieron potencias por debajo de su capacidad nominal, debido a la falta en la concentración del suministro del hidrógeno, sugerido por el fabricante.

Existe un desbalance energético en el prototipo construido, el electrolizador consumió una potencia mayor que la producida por la celda, mostrando que el prototipo fue ineficiente, por lo que se concluye que se deben adquirir un electrolizador más eficiente o acoplar otras fuentes de energías renovables para mejorar el balance energético del prototipo

## Referencias

- Abdul Rasheed, R. K., Liao, Q., Caizhi, Z., & Chan, S. H. (2017). A review on modelling of high temperature proton exchange membrane fuel cells (HT-PEMFCs). *International Journal of Hydrogen Energy*, 42 (5), pp.3142-3165. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.10.078>
- Baroutaji, A., Carton, J. G., Sajjia, M., & Olabi, A. G. (2016). Materials in {PEM} Fuel Cells. En *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. Elsevier. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.04006-6>
- Chang, R., & Goldsby, K. (2016). *Chemistry*. 12.<sup>a</sup> ed. Mc Graw-Hill Education.
- Dos Santos, K. G., Eckert, C. T., De Rossi, E., Bariccatti, R. A., Frigo, E. P., Lindino, C. A., & Alves, H. J. (2017). Hydrogen production in the electrolysis of water in Brazil, a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, pp.563-571. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.128>
- Horizon, F.C.T. (2013). *H-100 fuel cell stack user manual*. Retrieved from [https://docs.wixstatic.com/ugd/047f54\\_bc938ab51966e498e9919dfebb88e09d.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/047f54_bc938ab51966e498e9919dfebb88e09d.pdf)
- Marino, C., Nucara, A., Pietrafesa, M., & Pudano, A. (2013). An energy self-sufficient public building using integrated renewable sources and hydrogen storage. *Energy*, 57(Supplement C), pp. 95-105. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.01.053>
- Mebarki, N., Rekioua, T., Mokrani, Z., Rekioua, D., & Bacha, S. (2016). PEM fuel cell/ battery storage system supplying electric vehicle. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(45), pp. 20993-21005. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.05.208>
- Moratilla, B. ., & Linares, J. I. (2007). Hidrógeno y la energía. *Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI*, Vol. 2. Madrid, España
- Moseley, P. T., & Garche, J. (2015). *Electrochemical energy storage for renewable sources and grid balancing*. Amsterdam, Países Bajos: Elsevier.
- OLADE (1980). *Metodología sintética para el cálculo y especificaciones del programa de pequeñas centrales hidroeléctricas de OLADE*.
- Ozcan, H., & Dincer, I. (2017). Energy and exergy analyses of a solar based hydrogen production and compression system. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(33), pp.21414-21428. Retrieved from <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.05.001>

- Romero-Pascual, E., & Soler, J. (2014). Modelling of an HTPEM-based micro-combined heat and power fuel cell system with methanol. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(8), pp.4053-4059. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.07.015>
- Rosen, M., & Scott, D. (1992). Exergy analysis of hydrogen production from heat and water by electrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 17(3), pp.199-204. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/0360-3199\(92\)90127-I](https://doi.org/10.1016/0360-3199(92)90127-I)
- Saeed, E. W., & Warkozek, E. G. (2015). Modeling and analysis of renewable PEM fuel cell system. *Energy Procedia*, 74, pp. 87-101. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.527>
- Thangavelautham, J., Strawser, D. D., & Dubowsky, S. (2017). The design of long-life, high-efficiency PEM fuel cell power supplies for low power sensor networks. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(31), pp. 20277-20296. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.05.206>
- Vielstich, W., Lamm, A., Gasteiger, H. A., & Yokokawa, H. (Eds.). (2010). *Handbook of Fuel Cells*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/9780470974001>
- Wilberforce, T., El-Hassan, Z., Khatib, F. N., Al Makky, A., Baroutaji, A., Carton, J. G., & Olabi, A. G. (2017). Developments of electric cars and fuel cell hydrogen electric cars. *International Journal of Hydrogen Energy*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.07.054>
- Win, W. (2014). *Hydrogen Generator. Materials Sci & Tech*.



# Optimización del balance energético para el sistema eléctrico aislado de la isla San Cristóbal

**Carlos Raúl Barreto Calle**

Universidad Nacional de Loja

carlos.barreto@unl.edu.ec

## Resumen

Este artículo tiene por objetivo, proponer un algoritmo para optimización del Balance Energético del sistema eléctrico aislado de la isla San Cristóbal en el Archipiélago de Galápagos, que minimiza los costos de producción de energía eléctrica en un mix compuesto por generadores eólicos y térmicos, el modelo de optimización permite también evaluar los beneficios operativos por la recarga inteligente de vehículos eléctricos, así como de la utilización de sistemas de almacenamiento de energía y el funcionamiento de estaciones de recarga de vehículos eléctricos, en la búsqueda de aprovechar al máximo el potencial eólico de la isla. La metodología formula un problema de optimización no lineal (PNL) desarrollado en Matlab, para un período de operación de 24 horas y sujeta a restricciones de disponibilidad del recurso eólico; de los costos de producción de energía térmica; flujos de potencia activa y reactiva; y, ángulos y módulos de la tensión en los nodos del sistema eléctrico de distribución. Como resultados se obtienen: el despacho económico optimizado de las unidades de generación y el impacto de la recarga de los vehículos eléctricos y de los sistemas de almacenamiento de energía, en el balance energético y las pérdidas de energía del sistema.

**Palabras claves:** Aerogeneradores, Vehículos eléctricos, Microredes, Islas Galápagos.

## Abstract

This article proposes an algorithm for optimization of the Energy Balance of the isolated electrical system of the San Cristóbal Island in the Galapagos Archipelago, which minimizes the costs of producing electric energy in a mix composed by wind and thermal generators, the optimization model also allows To evaluate the operational benefits of intelligent recharging of electric vehicles, as well as the use of energy storage systems and the operation of electric vehicle recharging stations, in the search to take full advantage of the island's wind potential. The methodology formulates a nonlinear optimization (NLP) problem developed in Matlab, for a 24-hour operating period and subject to availability restrictions of the wind resource; Of the costs of production of thermal energy; Active and reactive power flows; And, angles and modules of the voltage in the nodes of the electrical distribution system. The results are: the optimized economic dispatch of generation units and the impact of the recharging of electric vehicles and energy storage systems on the energy balance and energy losses of the system.

**Keywords:** Wind generation, Electric vehicles, Insulated electrical system, Energy storage systems, Galapagos Islands.

## Introducción

Los problemas energéticos y ambientales que se vislumbran para los próximos años a nivel global y que tiene su origen en el uso indiscriminado que la actual sociedad moderna realiza de los combustibles fósiles, indican que posiblemente se esté llegando a un punto de inflexión en el modelo energético mundial, por una parte desde múltiples sectores se trata de impulsar el desarrollo y uso de fuentes alternativas de energía renovable y por otra se pretende cambiar el sistema de transporte con la introducción gradual del vehículo eléctrico (VE),

o incluso en el caso específico de Ecuador con la sustitución masiva de cocinas de inducción en remplazo del gas licuado de petróleo. Pese a lo cual los resultados obtenidos siguen estando distantes de lo esperado, por lo que se continuará dependiendo del petróleo en el largo plazo según Batet Ll. (2012).

Sin embargo, el uso del VE puede convertirse en un significativo aporte a dicho objetivo, al contribuir de manera efectiva a que la electricidad se convierta en un importante combustible para la industria de la transportación y adicionalmente al representar una también una oportunidad para el manejo de la demanda eléctrica, favoreciendo el uso de generación renovable según la Sociedad de Técnicos de Automoción –STA (2011), en especial en sistemas eléctricos aislados como los que operan en las Islas Galápagos.

### **Introducción al problema**

Es indudable el interés que en los últimos años se ha despertado en la comunidad científica y tecnológica mundial por el fenómeno de la nueva movilidad mediante VE, por lo que un gran número de programas e iniciativas nacionales e internacionales se desarrollan con la finalidad de establecer los efectos que conlleva su incorporación al sistema eléctrico según Colmenar et al. (2016). De manera similar se estudian en centros de investigación, universidades, empresas eléctricas, etc., el desarrollo de fuentes de energía renovables en micro redes o en sistemas eléctricos aislados, por lo que existen desarrollados varios trabajos relacionados con esta temática, sin embargo hasta ahora no se observa el crecimiento esperado en el número de estos vehículos que estén en funcionamiento, ni el uso masivo de fuentes de energía renovables para la electrificación de sistemas eléctricos aislados según Park H. & Baldik R (2016) y Ahmadi A. et al (2015).

El análisis de los posibles factores que pueden ocasionar tal circunstancia, podrían estar en las limitaciones económicas especialmente en países en vías de desarrollo como el Ecuador derivadas de la crisis económica mundial, ya que el desarrollo de estas nuevas tecnologías energéticas implican un elevado costo de inversión inicial; o las propias limitaciones tecnológicas que puedan tener, en el caso de los VE su escasa autonomía y en de las fuentes renovables su variabilidad temporal; lo cual puede estar incidiendo seriamente en limitar su adopción en forma masiva según STA (2011).

Por lo que este trabajo de investigación se basa en desarrollar un algoritmo que establece el balance energético del sistema eléctrico aislado de la isla San Cristóbal para 24 horas de operación, en la búsqueda de optimizar los costos de producción de energía eléctrica, utilizando de la mejor manera el recurso eólico disponible, al mismo tiempo de analizar el impacto de la utilización de la carga de VE y de sistemas de almacenamiento de energía que permitan aprovechar de manera adecuada dicho recurso.

### **Importancia del problema**

Bajo esta óptica, los sistemas eléctricos aislados que funcionan en islas, se constituyen en un escenario que podría posibilitar la implementación del uso de fuentes de energía renovales en combinación con el uso de VE como una opción que permita disminuir el uso del petróleo, sin embargo las características de vulnerabilidad de estos sistemas, al no estar interconectados a los grandes sistemas continentales, hacen necesario que se estudien los efectos operativos y económicos provocados por su funcionamiento según Ahmadi A. et al (2016), aspectos que motivaron la realización del presente trabajo. En el caso particular de la isla San Cristóbal se ha podido contar con datos estadísticos del recurso eólico disponible, así como de la demanda de energía eléctrica que han sido procesados adecuadamente para el desarrollo del presente trabajo de investigación, así como se ha modelado el sistema eléctrico de distribución en media tensión de la isla, lo cual se constituye en un aporte significativo, toda vez de que un gran número de trabajo sobre esta temática a nivel mundial se

basan en datos estimados o generados de manera artificial tanto para el recurso eólico como para la demanda de electricidad según Bustos C. et al (2012), así como se utilizan modelos de redes de distribución ficticios que han sido desarrollados y estandarizados para su utilización en simulaciones y ensayos de investigación.

Los resultados obtenidos en este trabajo nos permiten establecer que la incorporación de los VE en el sistema eléctrico aislado incide positivamente en la operación ya que permitirá aprovechar de manera adecuada el recurso eólico con el consiguiente beneficio económico y ambiental, asimismo se ha podido determinar la incidencia que tendría tal funcionamiento sobre los parámetros técnicos de operación del sistema, en las pérdidas de energía y en el balance energético.

### Metodología

Se plantea un problema de optimización para el balance energético en la operación de la red eléctrica aislada, en régimen permanente y en forma determinista, mediante la formulación de la distribución horaria de la carga eléctrica entre las unidades de generación existentes en el sistema eléctrico de la isla San Cristóbal, para los generadores tanto eólicos como térmicos, para un período de operación  $I$  de 24 horas, el cual permite el cubrimiento horario (períodos de 1 hora denominados  $i$  en el presente artículo) de la demanda al menor costo y en donde la función objetivo del problema de optimización es:

$$\min Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in Ng} C_j (G_{ijn} \cdot S_B) \quad \forall n \in N \quad (1)$$

En donde  $C_j$  son los costos operativos variables de los generadores  $j$  expresados en USD/MWh,  $G_{ijn}$  es la potencia activa producida en el aerogenerador o grupo térmico  $j$  a la hora  $i$  en el nodo  $n$  expresada en [p.u.] y  $S_B$  es la potencia base del sistema eléctrico aislado, que en el caso del presente artículo es 1 MVA.

El problema de optimización considera entre las restricciones los límites operativos tanto superiores como inferiores para los grupos térmicos y eólicos, tanto para la potencia activa generada como para la potencia reactiva.

Asimismo, se considera que se incorporará a futuro un Sistema de Almacenamiento de Energía (SAE), cuyo propósito es contribuir a la constitución de un modelo de desarrollo sostenible, lo cual nos lleva a pensar que tratamiento se dará a las baterías cuando dejen de ser útiles para los VE. Una alternativa razonable podría ser apostar por su reutilización, ya que muchos fabricantes de VE ofrecen dentro de su garantía la sustitución de las baterías cuyos rendimientos sean inferiores al 80%, baterías que sin embargo todavía pueden ser reutilizadas como acumuladores en otras aplicaciones menos exigentes que los VE. En este caso se podrían reutilizar en un Sistema de Almacenamiento de Energía (SAE) que preste su servicio para contribuir a la gestión de la energía en el sistema de distribución aislado. Con fines de analizar las repercusiones que tendría el funcionamiento del SAE en la operación del sistema de distribución planteamos como hipótesis que está conformado por 132 baterías reutilizadas de la flota de VE y que está dotado de la infraestructura tecnológica necesaria para gestionar el proceso de carga y descarga en forma segura.

**Tabla 1.**  
Características del SAE

Tipo de Baterías	Número	Capacidad Unitaria		Capacidad del SAE	
		kW	kWh	MW	MWh
Baterías de Li-ion	132	3,68	20,59	0,486	2,718

En el problema de optimización se introducen como restricciones adicionales los límites superior e inferior la energía que puede ser acumulada en el SAE así como los límites superior e inferior de la potencia de operación del SAE.

Para simular la operación del proceso de carga y descarga de las baterías tanto de los VE como del SAE se introduce la siguiente restricción:

$$E_{Bin} = E_{B(i-1)n} + \left[ (P_{Bin+} \cdot \eta) + \left( \frac{P_{Bin-}}{\eta} \right) \cdot \Delta t \right]; \forall i \in I, \forall n \in N \quad (2)$$

En donde  $E_{Bin}$  representa la energía acumulada en las baterías ubicadas en un nodo  $n$  del sistema de distribución en el periodo horario  $i$ , que sería igual a la energía acumulada en las baterías en el período inmediato anterior  $E_{B(i-1)n}$  más la suma de la potencia de funcionamiento de la batería cuando se carga que sería positiva  $P_{Bin+}$  multiplicado por el rendimiento del cargador de batería, más la potencia de funcionamiento de la batería cuando se descarga que sería negativa  $P_{Bin-}$  dividido para el rendimiento del cargador de batería, ambas potencias afectadas por el período de funcionamiento  $\Delta t$  que para este artículo sería 1 hora.

El modelo de optimización considera además como un aporte de investigación la simulación del funcionamiento eléctrico del sistema de distribución modelado para lo cual se introduce la formulación del flujo de potencia entre los nodos del sistema de distribución mediante la siguiente expresión para el flujo de potencia activa:

$$P_{in} = V_{in} \sum_{m \in N} Y_{nm} \cdot V_{im} \cos(\delta_{in} - \delta_{im} - \theta_{nm}); \forall i \in I, \forall n \in N, \forall m \in N \quad (3)$$

donde  $P_{in}$  es la potencia activa inyectada en el nodo  $n$  en el período  $i$  que es igual a la suma algebraica de los flujos de potencia de los nodos ( $m$ ) del sistema que dependen de la admitancia en las ramas que interconectan el nodo  $n$  con los nodos  $m$ , del módulo de las tensiones en el nodo  $n$  y  $m$  para el período  $i$  y del coseno de la diferencia entre el ángulo de la tensión en el nodo  $n$  menos el ángulo de la tensión en el nodo  $m$  y menos el ángulo de la admitancia entre los nodos  $n$  y  $m$  ( $\theta_{nm}$ ).

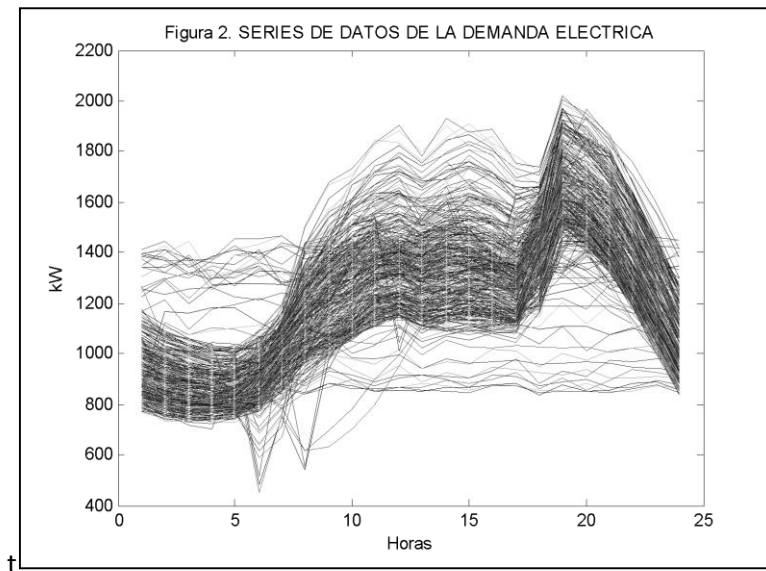
La relación matemática para el flujo de potencia reactiva se indica a continuación:

$$Q_{in} = V_{in} \sum_{m \in N} Y_{nm} \cdot V_{im} \sin(\delta_{in} - \delta_{im} - \theta_{nm}); \forall i \in I, \forall n \in N, \forall m \in N \quad (4)$$

En dicha formulación se considera además como restricciones que los módulos de las tensiones se encuentren en la franja de calidad del servicio con una regulación del  $\pm 5\%$  y que el ángulo este restringido a  $\pm \pi$  radianes.

Para analizar el impacto que tendría el funcionamiento de VE en el sistema de distribución se plantea como hipótesis que se encuentra operando en la isla una flota de 132 VE, que tendrían un consumo estimado de entre 0.22 a 0.27 kWh/km, que requerirían una autonomía para efectuar desplazamientos entre 68,63 y 84.23 Km diarios, para lo cual efectuarían el proceso de carga lenta de 8 horas, en este caso la simulación considera que se efectúa la gestión inteligente de la carga de los VE, es decir en horas de demanda mínima del sistema de distribución (entre las 01:00 y las 08:00).

Como otra restricción del modelo de optimización se considera la demanda de potencia del sistema de distribución determinada en función de las curvas de carga diaria del sistema cuyas series de datos estadísticos se pueden observar a continuación:

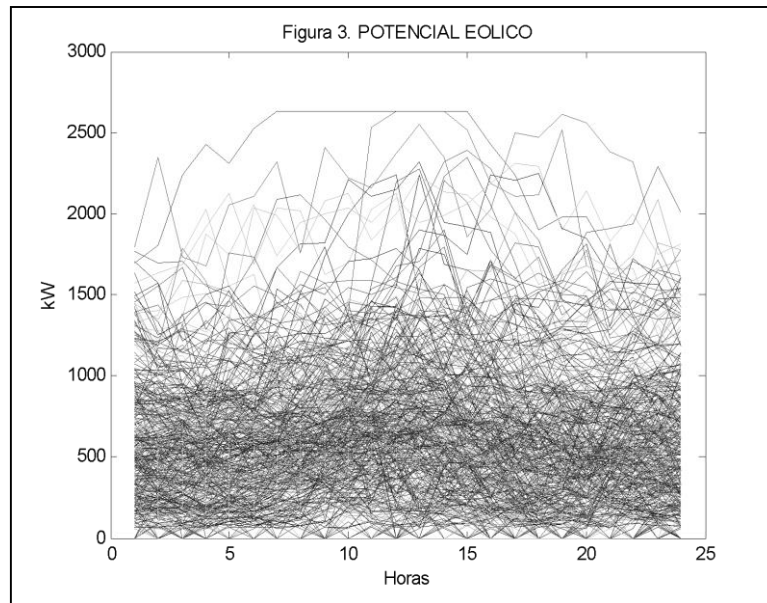


**Figura 2.**

Series Históricas de la Demanda Eléctrica de la Isla San Cristóbal.

**Fuente:** Autores

Adicionalmente se considera como restricción el recurso eólico disponible obtenido a partir de las series históricas de la velocidad promedio del viento que se indican a continuación:



**Figura 3.**

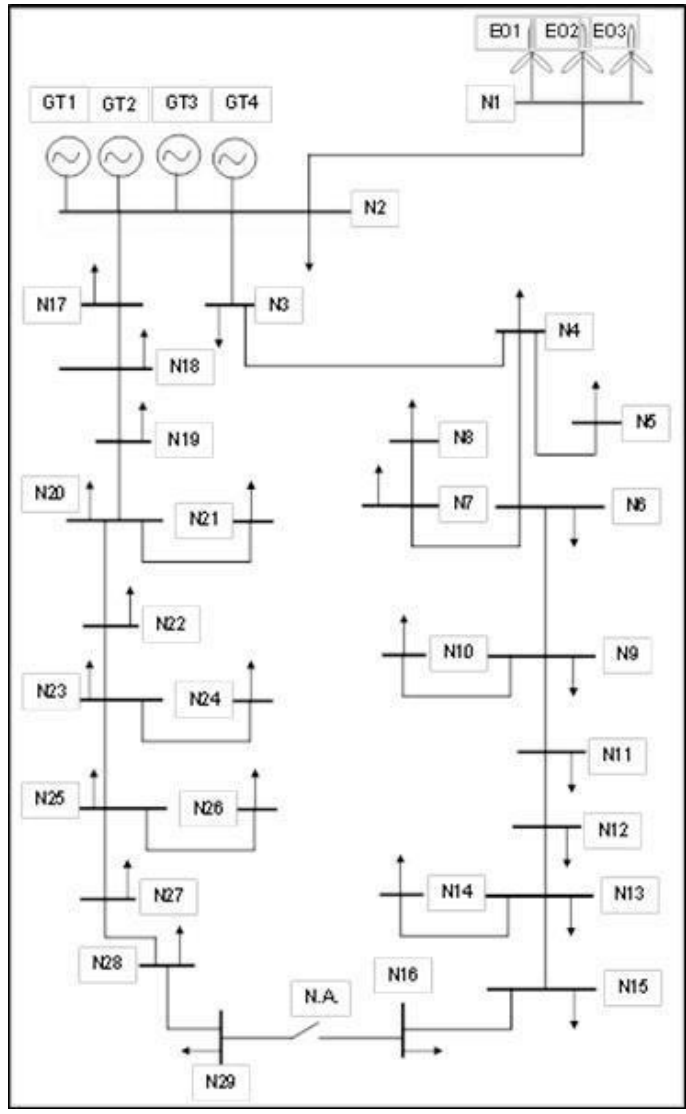
Series Históricas del potencial eólico de la Isla San Cristóbal

**Fuente:** Autores

### **Resultados**

Para la ejecución de las simulaciones se modeló el sistema de distribución en media tensión, debiéndose destacar que el mismo tiene una topología predominantemente radial y aéreo que es común en el Ecuador, soportado en postes y estructuras de soporte triangulares, fijadas mediante aisladores de porcelana sobre crucetas, con conductores de desnudos del tipo ACSR en calibres comprendidos entre 4/0 y 2 AWG, siendo la tensión de operación 13,2 kV.

Con fines computacionales se modeló el sintetizó el sistema de distribución en 29 nodos como se puede observar en la siguiente gráfica:



**Figura 3.**

Diagrama Unifilar del Sistema Eléctrico Aislado en Media Tensión de la Isla San Cristóbal

**Fuente:** Autores

La distribución de la demanda eléctrica horaria entre los nodos del sistema se efectúa en función de la capacidad instalada y factores de demanda horaria.

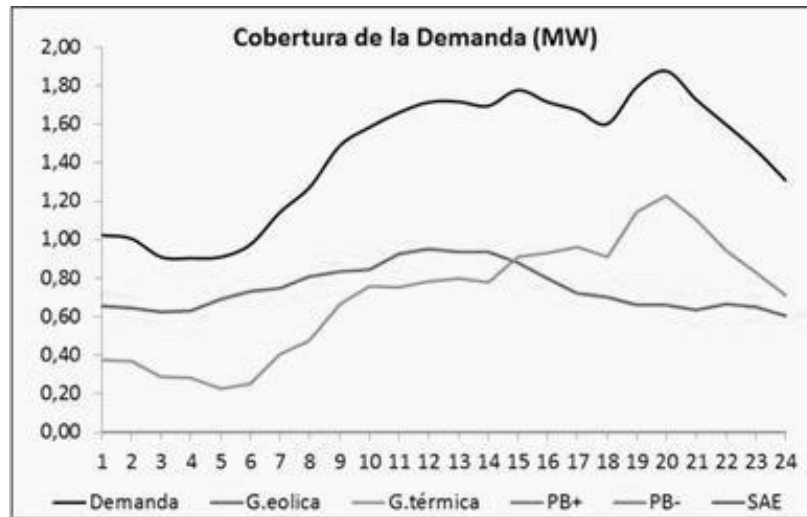
Para simular la operación óptima de la central térmica se utilizó la siguiente estructura de costos:

**Tabla 2.**

Costos variables de generación térmica

<b>Grupo</b>	<b>Costo variable (cUSD/kWh)</b>
Grupo 1 (520/650 kW)	14,61
Grupo 2 (520/650 kW)	14,49
Grupo 3 (520/650 kW)	14,66
Grupo 4 (800/1000 kW)	11,04

En la Figura 4, se puede observar gráficamente la producción óptima que tendrían las centrales de generación eólica y térmica de la isla San Cristóbal para un día típico de operación, en el Caso Base es decir sin que funcionen VE ni el SAE.



**Figura 4.**

Curvas de Producción Óptima de las Centrales Caso Base

Fuente: Autores

Sobre la base de los resultados obtenidos se establece que el factor de carga del sistema sería del 76,93%, con un valle muy pronunciado entre las 24:00 y las 06:00, el costo de producción de energía para las 24 horas analizadas se ubicaría en 5.384,45 USD y el precio medio de la energía generada alcanzaría 154,37 USD/MWh.

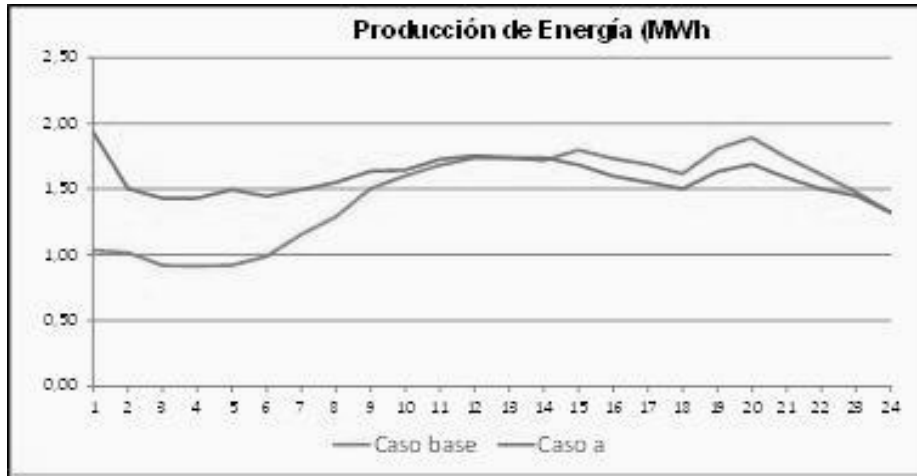
Se obtiene como resultado que la operación del sistema aislado para el **Caso Base**, arroja el 0.961% de pérdidas de energía a nivel de primarios en el día de operación simulado.

### Discusión

Se plantea el Caso a, que simula la operación de los VE y del SAE, con la finalidad de evaluar el impacto que tendrían sobre el sistema de distribución aislado de la isla San Cristóbal, para el efecto se consideran las mismas condiciones de la demanda eléctrica convencional, así como la misma capacidad de generación eólica del Caso Base. Como resultado de la simulación se determina que el SAE cargaría sus baterías en las horas de demanda mínima y la retornaría al sistema en horas de demanda máxima, contribuyendo a cubrir la demanda eléctrica convencional y a aprovechar de mejor manera la producción eólica.

Si analizamos la curva de carga del sistema, se observa que la carga inteligente de los VE y el funcionamiento del SAE contribuyen significativamente a aplanar la curva de carga, por lo que el factor de carga del sistema se incrementaría al 81,93%, confirmando que estos dos elementos contribuyen a gestionar la demanda. Estos resultados se traducen en disminución del precio medio de producción de energía que se reduce a 150,18 USD/MWh.



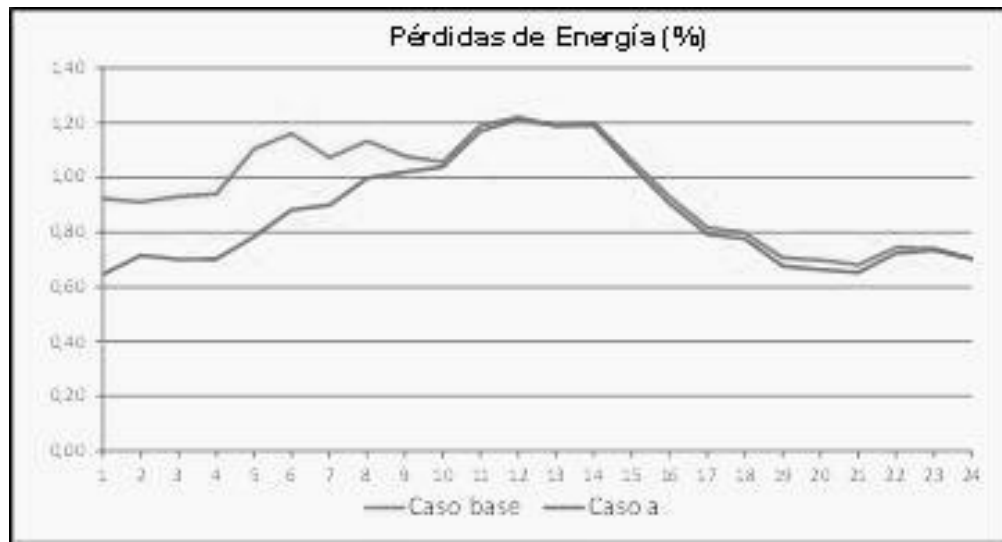


**Figura 5.**

Comparación de las curvas de carga del sistema entre el Caso Base y el Caso a

**Fuente:** Autores

También es notoria la mejora que se consigue en la evolución del precio medio de producción de energía que se reduce considerablemente entre el Case Base y el Caso a debido a un mejor aprovechamiento del recursos eólico. Por otra parte se evidencia un mejor balance de energía, por una más eficiente utilización de la infraestructura eléctrica, reduciéndose las pérdidas de energía.



**Figura 6.**

Comparación del comportamiento de las pérdidas de energía entre el Caso Base y el Caso a

**Fuente:** Autores

Debido a la topología del sistema se observa que la caída de tensión se incrementa entre el Caso Base y el Caso a, sin embargo este incremento se produce en horas de demanda mínima cuando la tensión es elevada en el sistema por lo que no se traduce en perjuicio para los usuarios, sino más bien contribuye a una mejor regulación de tensión en el sistema.

## Conclusiones

De los resultados obtenidos se concluye que la incorporación de VE en el sistema de distribución aislado de la isla San Cristóbal incide positivamente en su funcionamiento, siempre y cuando se realice la carga lenta e inteligente de las baterías, lo cual contribuye a mejorar el aprovechamiento de la infraestructura eléctrica.

Es posible contribuir a la sostenibilidad del proyecto, con la reutilización de las baterías para conformar un SAE, lo cual mejorará aún más el funcionamiento del sistema de distribución aislado.

La optimización del balance energético del sistema eléctrico aislado, con incorporación de VE y SAE, favorece la disminución de la dependencia de los combustibles fósiles, con el consiguiente beneficio económico y ambiental.

La carga inteligente de los VE puede maximizar la integración de la generación renovable, al cargarse en horas en las que exista una mayor dificultad para evacuar la generación renovable, lo que abre a largo plazo la posibilidad de optimizar los recursos económicos para cubrir con energía renovable la demanda energética de los sistemas aislados.

## Agradecimiento

Se expresa un sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja y al Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables por su apoyo incondicional a la realización de la investigación en los temas energéticos.

## Referencias

- Ahmadi, A., Charward, M., Siano, P., Nezhad, A., Sarno, D., Girizadeh, M., & Raesi, F. (2016). A novel two-stage stochastic programming model for uncertainty characterization in short-term optimal strategy for a distribution compay. *Energy* 117 pp.1-9
- Batet, LI (2012). *Análisis de las perspectivas energéticas mundiales para el próximo cuarto de siglo*. Universidad de Barcelona, Barcelona, España.
- Bustos, C., Watts, D., & Ren, H. (2012), Micro grid operation and desing optimization with synthetic wind and solar resources. *IEEE Latin America Transactions*. 2 (10).
- Colmenar Santos, A., Linares Mena, A., Gorge Diez, D. & Quinto Alemany, D. (2016). Impact assesment of electric vehicles on islasnd grids: A case study for Tenerife (Spain). *Energy* 30 pp. 1-12.
- Conelec (2012). *Boletín Estadístico del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2011*. Quito, Ecuador. Recuperado de [http://www.conelec.gob.ec/images/documentos/doc\\_10104\\_Be2011.pdf](http://www.conelec.gob.ec/images/documentos/doc_10104_Be2011.pdf)
- FCN, PNG y Consejo de Gobierno de Galápagos (2010). *Informe Galápagos 2009-2010*. Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador. Recuperado de <http://www.mediafire.com/?87wwvfri7c79dze>.
- Gao Y., Zhao, K. & Wang, C. (2012). Economic dispatch containimg wind power and electric vehicle battery swap station. Transmission and Distribution Conference and Exposition. *IEEE PES*, 7 (10) pp. 1-7.

Graince, J. & Stevenson, W. (1996). *Análisis de sistemas de potencia*. México, México: McGraw-Hill/Interamericana

Olivella, P. (2013). *Modelación de la demanda de carga lenta y rápida de vehículos eléctricos para el estudio de impacto en la red de distribución*. Barcelona, España.

Park, H., & Baldik, R. (2016). Multi year stochastic generation capacity expansion planning under environmental energy policy. *Applied Energy* 183 pp.737-745.

Rosero, E., & Chilibingua, B. (2011). *Observatorio de Energías Renovables de América Latina y el Caribe – Ecuador. OLADE-ONUDI*. Recuperado de <http://www.renenergyobservatory.org/es/products/informes-tecnicos.html>

Sociedad de Técnicos de Automoción STA (2011). *El vehículo eléctrico, desafíos tecnológicos, infraestructura y oportunidades de negocio*. 1ra edición, Barcelona, España

The MathWorks, Inc. (2012). *Optimization Toolbox User Guide*.

Villafáfila, R., Lloret D., Heredero, D., Sanper, A., Cairo, I., Cruz, M., & Vidal, N. (2011), *Electric vehicles in power systems with distributed generation: Vehicle to microgrid (V2M) Proyet*. Barcelona, España. Electric Power Quality and Utilisation (EPQU). 11<sup>th</sup> International Conference.

The background features a dark teal color with a faint, stylized illustration of a globe. Several hands are shown holding the globe from different angles. Overlaid on the globe are several white, stylized human figures, some of which are partially obscured by the hands. The overall aesthetic is clean and modern.

## CAPÍTULO 4 ERGONOMÍA SOCIAL

# Metodología ergonómica para la adaptación de puestos de trabajo de personas con discapacidad física en los centros laborales del sector público de la ciudad de Riobamba (2013 - 2016)

**Mgs. Víctor Manuel Moreno Fiallos**

Universidad Nacional de Chimborazo  
vmmoreno@unach.edu.ec

**PhD Bolívar Edmundo Cabezas Heredia**

Universidad Nacional de Chimborazo  
ecabezas@unach.edu.ec

**Mgs. Marco Vinicio Moreno Rueda**

Universidad Nacional de Chimborazo  
mvmoreno@unach.edu.ec

## Resumen

El trabajo busca conocer la metodología ergonómica para la adaptación de puestos de trabajo de personas con discapacidad. Se estudió a las personas que laboran en el sector público de la ciudad de Riobamba, cuyo % exigido por ley debe cumplirse. Surge un problema relacionado con los hábitos y los niveles de conocimiento frente a los riesgos y sus consecuencias. Los puestos de trabajo requieren ser estudiados para mejorar las condiciones y que los trabajadores desarrollen sus actividades en un ambiente confortable y saludable. Se identificó, evaluó las dimensiones que aportan y en qué nivel incide en la adaptación de puestos de trabajo para personas con discapacidad. La población del estudio estuvo constituida por 73 personas, la técnica utilizada la encuesta: constó de 22 ítems de la variable independiente y 19 de la dependiente. La adaptación del puesto de trabajo: mobiliario como uno de los puntos más deficientes, al no contar con las medidas mínimas necesarias recomendadas en la literatura especializada, así como por el deterioro en el que se encuentran, con lo que respecta al ambiente luminoso, se encontró que las fuentes de iluminación no están dirigidas correctamente. El trabajo presenta recomendaciones y acciones preventivas a implementarse.

**Palabras Clave:** Discapacidad física, Metodología ergonómica, Puesto de trabajo ergonómico.

## Abstrac

The work seeks to know the ergonomic methodology for the adaptation of jobs of people with disabilities. It was studied the people who work in the public sector of the city of Riobamba, whose% required by law must be fulfilled. A problem related to habits and levels of knowledge about risks and their consequences arises. The jobs need to be studied to improve the conditions and that the workers develop their activities in a comfortable and healthy environment. It identified, assessed the dimensions that contribute and at what level affects the adaptation of jobs for people with disabilities. The study population consisted of 73 people, the technique used the survey: it consisted of 22 items of the independent variable and 19 of the dependent variable. The adaptation of the workstation: furniture as one of the most deficient points, as it does not have the necessary minimum measures recommended in the specialized literature, as well as the deterioration in which they are, with regard to the luminous environment, found that the lighting sources are not properly addressed. The work presents recommendations and preventive actions to be implemented.

**Keywords:** Physical disability, Ergonomic methodology, Ergonomic workstation

## Introducción

El mundo laboral engloba una infinidad de circunstancias y requerimientos multidisciplinarios para un universo de profesiones del mundo moderno. Esto obliga al análisis y tratamiento de las condiciones de riesgo y fragilidad en la calidad de vida de las personas con discapacidad y sus familias, entonces hay la necesidad de empatar esas demandas y necesidades a los factores de prevención de riesgos, adaptados a las exigencias vertiginosas de esas necesidades y con mucho más énfasis en personas con cierto grado de dificultad para adaptarse a un sistema y un entorno laboral que en muchos casos puede resultar inadecuado. Por lo que cualquier avance en este tema será un aporte relevante al momento de contratar e insertar personas con discapacidad al campo laboral, con una valoración técnica e instrumentos adecuados permita valorar sus habilidades, destrezas, nivel académico y su condición de salud, para la adecuación de un puesto de trabajo ergonómico acorde a su deficiencia.

Las consecuencias han provocado que los trabajadores discapacitados sean ubicados en puestos de trabajo inadecuados y se les limita en un accionar distinto con su perfil y su condición de discapacidad, que provoca que en la parte Psicosocial se presenten retrocesos en el tratamiento de su lesión o discapacidad, con graves consecuencias para su salud y por esas causas se deban enfrentar elevados índices de deserción, laboral, ausentismo laboral, baja autoestima, reclamos legales y muchas de las veces desemboquen en accidentes laborales.

La propuesta del presente estudio, se orienta a que una vez identificados los factores las variables y sus dimensiones de la adecuación del puesto de trabajo para las personas con discapacidad, se plantee una metodología ergonómica acorde a la realidad del medio respecto de los riesgos laborales, para que a partir de sus resultados puedan ser mitigados o gestionados con la finalidad de adaptar otros elementos que contribuyan a mejorar las condiciones de salud y confort laboral de la personas con discapacidad en la ciudad de Riobamba.

El diseño de la metodología para la adaptación del puesto de trabajo cumple con medidas y características ergonómicas recomendadas en la literatura, para garantizar el confort laboral de las personas con discapacidad, en el que contemplan dos dimensiones. La primera, dirigida a la generación de mecanismos de exigibilidad y medidas para equiparar oportunidades en el acceso y mantención en un puesto de trabajo. La segunda para elevar el nivel de satisfacción laboral.

Al existir una población significativa con este tipo de dificultad en la informalidad, también se incluye como factor decisivo la falta de asesoramiento y capacitación sobre la prevención de riesgos laborales como: malos hábitos de realizar esfuerzos, movimientos indebidos, transporte de cargas pesadas sin ayuda humana o mecánica, mala utilización de materiales y herramientas, entre otras, entonces es imprescindible inducir políticas de prevención asociada con los riesgos, ya que se trata de cambiar incluso costumbres culturales.

En la mayor parte de los casos, la postura que adoptan los usuarios de equipo de cómputo conduce a la aparición de males prematuros que representan, en general, el 75% de las lesiones ergonómicas y son la primera causa de incapacidad registrada en el Instituto Mexicano de Seguro Social: cefaleas, dolores de espalda, molestias cervicales, lumbalgias, agarrotamientos musculares... los esfuerzos de mano, muñeca, codo y hombro traen consigo tendinitis, tenosinovitis, etc., a consecuencia de movimientos rápidos, forzados y repetidos que inflaman las articulaciones. Denominado "Síndrome de Tensión Repetitiva" y herencia de los adelantos tecnológicos, conforma un cuadro clínico estrechamente ligado al manejo de video terminales.

La literatura acerca de las personas con discapacidad y su relación con el mercado de trabajo en España, ha provenido principalmente de las organizaciones sociales y de investigadores procedentes de la sociología o la psicología, más relacionados con el campo del trabajo social. Por lo que dichos estudios se basan más en aspectos de la política social, la protección de los discapacitados o con aspectos médicos y de salud general.

No ha sido hasta muy recientemente cuando empieza a surgir estudios del campo de la economía laboral y más concretamente, de la relación de las personas con discapacidad con el mercado de trabajo, aplicando el análisis económico para obtener conclusiones sobre las políticas económicas óptimas a desarrollar.

Los estudios principales y más amplios que se han realizado son los del Comité Económico y Social (1995 y 2003), donde se describe la situación de las personas con discapacidad, pero desde un punto de vista social, analizando los datos cuantitativos existentes, haciendo una mera descripción de la situación.

Profundizando la discapacidad es causa y consecuencia de pobreza, la desigualdad en los patrones de inserción laboral y la discriminación que sufren las personas con discapacidad en el mercado laboral contribuye a reproducir la desigualdad social, la pobreza y la exclusión social. Al no poder acceder a un trabajo, no hacerlo en igualdad de condiciones que el resto de los ciudadanos o hacerlo en espacios diferenciados o protegidos, las personas con discapacidad corren el riesgo de convertirse en ciudadanos de segunda categoría.

Los problemas de inserción laboral de las personas con discapacidad responden a muchos factores, tal y como señaló hace ya algunos años el Comité Español de Representantes de Personas con Discapacidad (CERMI) al aprobar el Plan de empleo para las personas con discapacidad en el siglo XXI, pueden resumirse en los siguientes puntos:

- Un nivel educativo y una cualificación profesional deficiente o no adaptada a las demandas del sistema productivo.
- Falta de motivación e información de la propia persona con discapacidad y de sus familias que se traduce en dificultades para mejorar su cualificación profesional o buscar empleo.
- Actitud negativa por parte de los empleadores o de los responsables de la Administración del Talento Humano que revela un prejuicio inicial hacia las capacidades potenciales de la persona con discapacidad o una serie de ideas falsas preconcebidas (escasa polivalencia, difícil reciclaje, altos costes por la adaptación de lugares y puestos de trabajo...).
- Dificultades para acceder a fuentes de financiamiento de cara a crear su propio negocio.
- Dificultades de accesibilidad (transporte, adaptación de centros de formación o de trabajo...) que pueden obstaculizar la integración laboral.

La reducción de las profundas diferencias en el mercado de trabajo que afectan a las personas con discapacidad requiere de la puesta en marcha de políticas activas de empleo que ayuden a la mejora de su empleabilidad, faciliten su transición hacia el empleo e impulsen su desarrollo profesional.

Las políticas activas de empleo se enfrentan, en relación con las personas con discapacidad, a una serie de retos, entre los que destaca la alta segmentación del mercado laboral para este colectivo, en el que frente a un pequeño núcleo de personas en una situación de ocupación estable, hay un grupo más amplio de personas con notables dificultades de acceso al mercado laboral, que alternan situaciones de empleo precario y desempleo, y un grupo mayoritario de personas desanimadas o inactivas, que no mantienen relación con el mercado laboral.

Con su origen en el informe Schwartz en 1985, aunque en un principio estaba ligado a la transición de los jóvenes a la vida adulta, se viene utilizando en las últimas décadas para referirse a colectivos de jóvenes y adultos en situación de exclusión o de vulnerabilidad social. La dualidad de uso, tanto para referirse a la inserción como proceso y como resultado hacen que sea un vocablo muy usado en el mercado de trabajo.

Cuando hablamos de inserción laboral como proceso, estamos haciendo alusión a los itinerarios (programas, cursos de búsqueda activa de empleo, actividades formativas,...) que realizan las personas con el fin último de conseguir una inserción. En términos de resultados, estaríamos haciendo referencia al número de personas que han conseguido un empleo, aunque esta última concepción desafía la visión de inserción socio laboral como proceso.

La diversidad funcional es inherente a la propia existencia de la humanidad. Las capacidades funcionales de la persona han sido un criterio de medición y clasificación del individuo atribuyéndole una identidad individual y social (Sánchez, 2016).

Esta construcción social de la discapacidad se ha definido en consonancia a los valores socioculturales de cada momento histórico. Sin embargo, en los albores del siglo XXI todavía es latente la discapacidad como causa de desigualdad social, a pesar del avance legislativo actual.

Como señala Echeverría (1995) “El proceso de inserción socio-profesional de toda persona depende cada vez más de una buena educación de base, acompañada de formación, orientación y trabajo. Así, la orientación profesional se encuentra inmersa en el triángulo formación orientación” (p. 107).

## Método

### Diseño

La investigación es aplicada es exploratoria, descriptiva y correlacional, ya que se apoyó en el contexto teórico del conocimiento y de la práctica para aplicarlos en provecho de las personas con discapacidad para conocer la realidad en una forma rigurosa y organizada de relación existente entre los factores de inserción laboral de personas con discapacidad física analizados desde la administración del talento humano los riesgos laborales y el entorno laboral (Murillo, 2008).

### Participantes

La población estuvo constituida por 73 personas con discapacidad física, insertadas laboralmente en el sector público de la ciudad de Riobamba conformado por hombres y mujeres. La técnica utilizada fue la encuesta aplicada a las personas con discapacidad física, insertadas laboralmente en el sector público de la ciudad de Riobamba (2013 - 2016). La encuesta constó de 22 ítems, que corresponden a la variable independiente y 19 ítems de la variable dependiente tipo Likert.

Se debe mencionar que la investigación se realiza en una sola etapa, para su aplicación se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N(p)(q)}{\left[\frac{Me^2}{Nc^2}(N-1)\right] + (p)(q)} \quad (1)$$

N= Población

n= Muestra



p= probabilidad de ocurrencia

q= probabilidad de no ocurrencia

Me= margen de error o precisión admisible con que se toma la muestra

Nc= nivel de confianza o exactitud con que se generaliza los resultados de la población.

Con una muestra de 73 servidores con discapacidad insertados laboralmente en el sector público.

La participación de los sujetos en el estudio fue anónima.

### **Instrumentos**

Se utilizó un test elaborado con la finalidad de analizar las dimensiones de la variable independiente que empíricamente se plantearon en un inicio, la variable metodología ergonómica fue modificada para alcanzar un alfa de Cronbach de 0.79 valor con el cual se acepta la fiabilidad del instrumento.

En el análisis del instrumento de la variable Independiente, al analizar las dimensiones de la estación de trabajo en su análisis se obtuvo el alfa de Cronbach de 0.95, condición que permitió aceptar directamente por ser un valor alto por lo tanto queda demostrado la fiabilidad del instrumento.

### **Procedimiento**

La recolección de la información se realizó en el mes de marzo de 2015, con la colaboración de personal vinculado directamente con el tema como: los administradores de Talento Humano, Supervisores, Directores de las unidades de Riesgos Laborales Médicos ocupacionales de los centros laborales del sector público de la ciudad de Riobamba.

El proceso de recolección de datos y su tabulación duró tres meses, debido a que los servidores tenían que programar su trabajo para contestar el test y la concentración de la población es dispersa.

### **Variables**

Las variables que se tuvieron en cuenta en la investigación fueron:

- Variables sociodemográficas.
- Ocupación.
- Género.
- Grado de Discapacidad.
- Nivel de escolaridad.
- Variables Metodología ergonómica
- Variable Adaptación de puesto de trabajo.

### **Resultados**

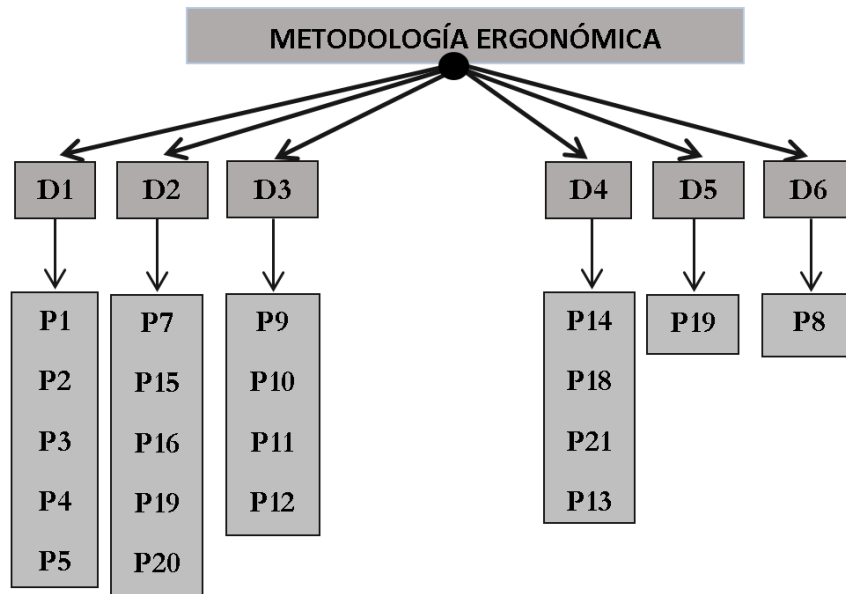
Según los resultados obtenidos, las dimensiones que aportan significativamente al instrumento es las condiciones ambientales del trabajo seguido de las exigencias del puesto y luego las dimensiones de la carga mental y carga física.

Para el análisis de los resultados se utilizó un diagrama estructural véase la figura 1, la fiabilidad y prueba del KMO para determinar si existe o no diferencia del nivel comparativo entre las condiciones sociodemográficas con relación de las metodologías ergonómicas y la variable puesto de trabajo.

### Análisis de la variable independiente

De un total de 22 ítems del instrumento aplicado en la variable metodología ergonómica, en la distribución de las dimensiones obtenemos el nuevo diagrama estructural, el alfa Cronbach y el KMO que nos permitió comprobarla validez y la fiabilidad del instrumento.

### Diagrama estructural de la variable factores de la inserción Laboral



**Figura 1.**

Gráfico de la variable Metodología Ergonómica

Fuente: Autores

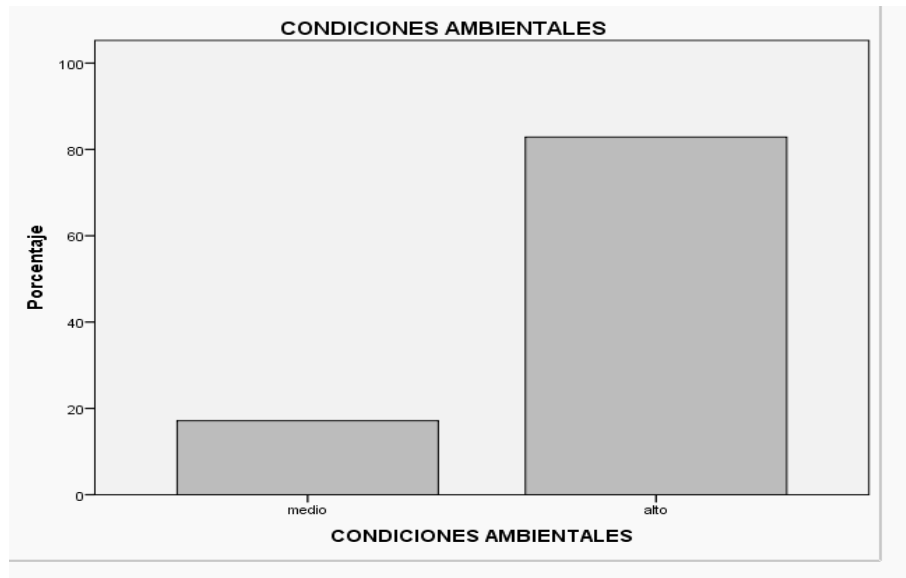
**Tabla 1.**

Grado de discapacidad

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Leve	11	31,4	31,4
	Moderado	15	42,9	74,3
	Severo	9	25,7	100,0
	Total	35	100,0	100,0

Fuente: Autores

Los resultados incluyen los estadísticos descriptivos y significativos encontrados sobre el grado de discapacidad véase en la Tabla 1.



**Figura 2.**

Gráfico de la dimensión condiciones ambientales

**Fuente:** Autores

Los resultados incluyen los estadísticos descriptivos y significativos encontrados de la dimensión condición ambiental véase en la Figura 2.

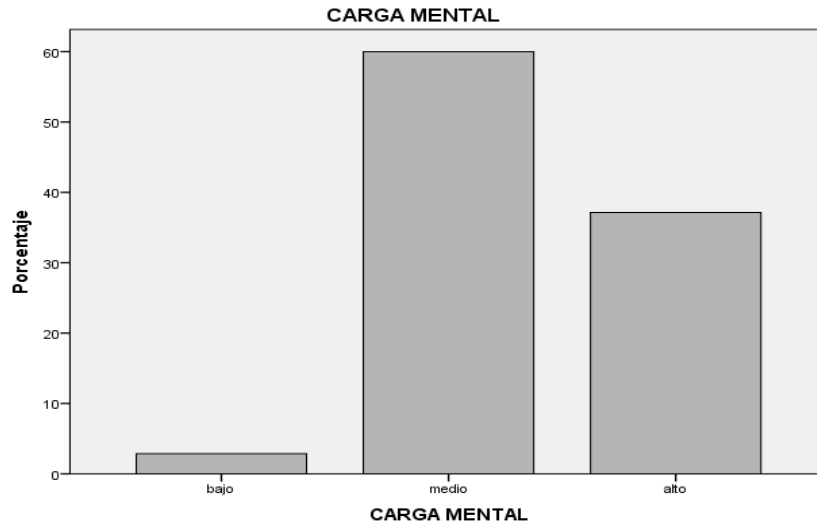
**Tabla 2.**

Dimensión adecuación del puesto

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos				
	Bajo	3	8,6	8,6
	Medio	20	57,1	65,7
	Alto	12	34,3	100,0
	Total	35	100,0	100,0

**Fuente:** Autores

Los resultados incluyen los estadísticos descriptivos y significativos encontrados de la dimensión variable adecuación del puesto, véase en la Tabla 2.



**Figura 3.**

Gráfico de la dimensión carga mental

**Fuente:** Autores

Los resultados incluyen los estadísticos descriptivos y significativos encontrados de la dimensión variable carga mental véase Figura 3.

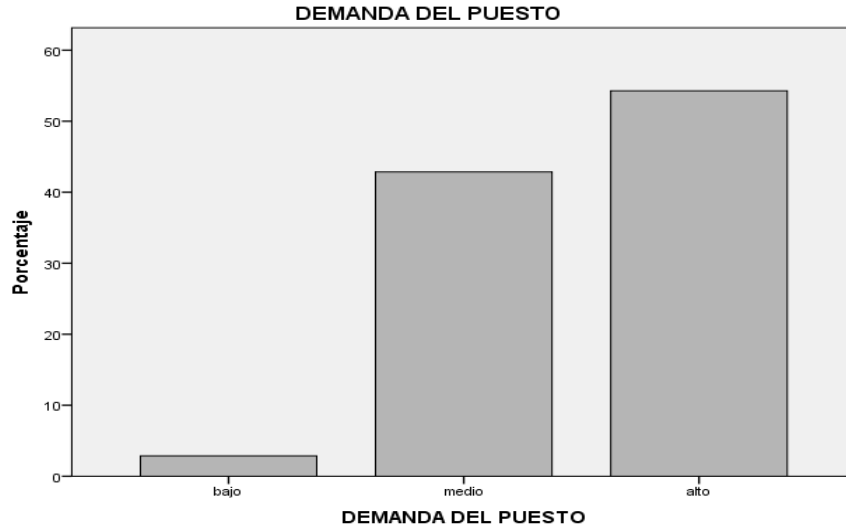
**Tabla 3.**

Dimensión Carga Física

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos Medio	6	17,1	17,1	17,1
Válidos Alto	29	82,9	82,9	100,0
Total	35	100,0	100,0	

**Fuente:** Autores

Los resultados incluyen los estadísticos descriptivos y significativos encontrados de la dimensión carga física véase Tabla 3.



**Figura 4.**

Gráfico de la variable Orientación Vocacional y profesional de las personas con discapacidad insertadas laboralmente

**Fuente:** Autores

Los resultados incluyen los estadísticos descriptivos y significativos encontrados de la dimensión Demanda del puesto véase en la Figura 4.

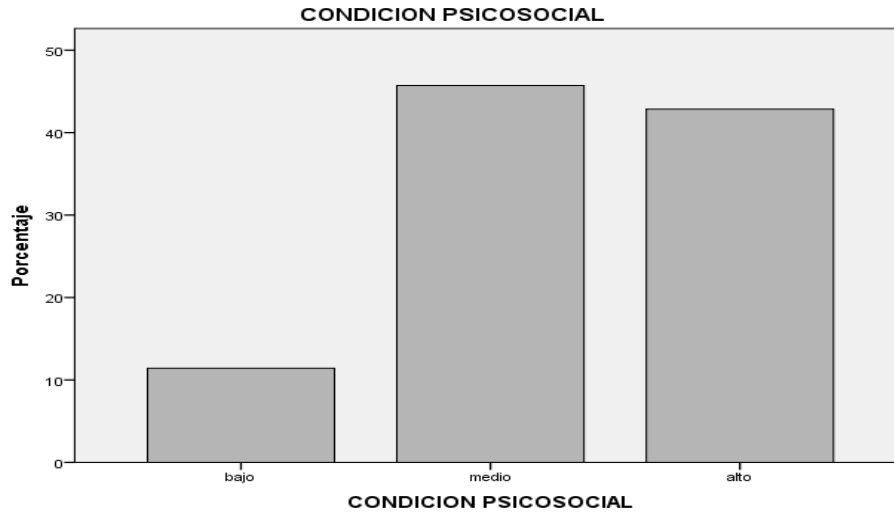
**Tabla 4.**

Organización del trabajo

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Bajo	1	2,9	2,9
	Medio	21	60,0	62,9
	Alto	13	37,1	100,0
	Total	35	100,0	100,0

**Fuente:** Autores

Los resultados incluyen los estadísticos descriptivos y significativos encontrados de la dimensión Organización del trabajo véase en la Tabla 5.



**Figura 5.**

Gráfico de la variable Condición Psicosocial

**Fuente:** Autores

Los resultados incluyen los estadísticos descriptivos y significativos encontrados de la dimensión Condición psicosocial véase en la Figura 5.

**Tabla 5.**

Variable Metodología Ergonómica

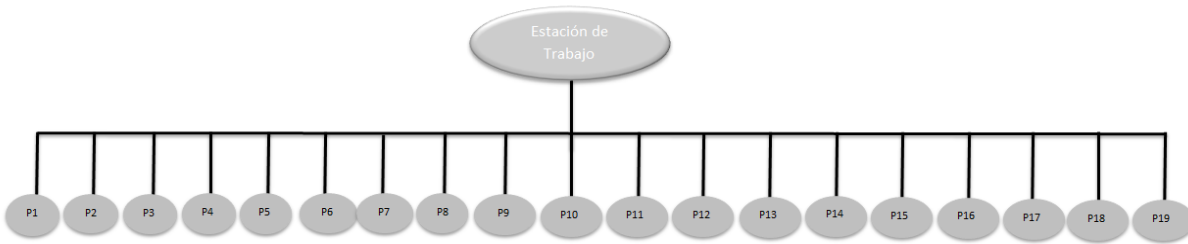
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Medio	29	82,9	82,9
	Alto	6	17,1	100,0
	Total	35	100,0	100,0

**Fuente:** Autores

Los resultados incluyen los estadísticos descriptivos y significativos encontrados de las variables metodologías ergonómicas de las personas con discapacidad insertadas laboralmente, véase en la Tabla 6.

### **Análisis de la variable dependiente**

De un total de 19 ítems del instrumento aplicado en la variable puesto de trabajo, en la distribución de las dimensiones obtenemos el nuevo diagrama estructural, alfa Cronbach y KMO que nos permitió comprobarla validez y fiabilidad del instrumento.



**Figura 6.**

Diagrama estructural de la Variable Estación de Trabajo

**Fuente:** Encuestas Aplicada

### Discusión

Referente a la tabla 1, se presenta el grado de discapacidad de los servidores insertados laboralmente con discapacidad moderada es: más alto, por el contrario, la discapacidad severa es la que menos inserción laboral siendo un punto a ser tomado en cuenta en buscar mecanismos de cómo insertarlos laboralmente.

La figura 2, dimensión condiciones ambientales insertados laboralmente: el 17,1 % presenta un nivel medio de incidencia de la metodología en el instrumento mientras que el 82,9 %, alcanza un nivel de incidencia de la metodología en el instrumento con una valoración alta.

Al realizar el análisis de la tabla 2, sobre la dimensión adecuación del puesto de trabajo: el 8,6 % responde que su puesto de trabajo presenta un nivel bajo de condiciones adecuadas el 57,1 afirma que existen condiciones medianamente aceptables mientras que el 34,3%, están de acuerdo con la adecuación del puesto y le dan un valor de alto concluyendo que los puestos de las personas evaluadas mayoritariamente están medianamente adecuados.

En la figura 3, al ser consultados sobre las dimensiones carga mental: el 2,9 % responde que las exigencias de la carga mental en su puesto de trabajo son bajo, el 60 % afirma que existen condiciones medianamente aceptables mientras que el 34,3% están de acuerdo con la carga mental del puesto y le dan un valor de alto concluyendo, que los puestos de las personas evaluadas mayoritariamente están altamente adecuados.

En la tabla 3, al ser consultados sobre las dimensiones carga física: el 17,1 % responde que la exigencia de la carga física en su puesto de trabajo es medio, 82,9 % afirma que existen condiciones altas de exigencia en la carga física, concluyendo que los puestos de las personas evaluadas mayoritariamente tienen una carga alta.

En la figura 4, al ser consultados sobre la dimensión demanda del puesto: el 2,9 % responde que las exigencias de la demanda del puesto en su lugar de trabajo son bajo el 42,9 %, afirma que la demanda del puesto son condiciones medianamente aceptables, mientras que el 54,3 %, afirma que la demanda del puesto de trabajo es alta.

En la tabla 4, al ser consultados sobre la dimensión Organización del trabajo: el 2,9 % responde que la organización del trabajo es bajo, el 60 % afirma que la organización del trabajo del puesto son condiciones medianamente aceptables, mientras que el 37,1 % afirma que la organización es alta.

En la figura 5, al ser consultados sobre la dimensión condición psicosocial: el 11,4% responde que las condiciones psicosociales son bajas en supuesto es bajo el 45,7 % afirma que las condiciones psicosociales del puesto son condiciones medianamente aceptables, mientras que el 42,9% afirma que la condición psicosocial y la organización en su trabajo es alta.

La tabla No 5, metodología ergonómica: el 82.9 % es medio y 17.1 % es alto, siendo muy aceptable cómo metodología de análisis.

En la figura 6, se presenta el diagrama estructural de la variable estación de trabajo siendo este el aporte investigativo.

La investigación demuestra que el instrumento utilizado es válido y confiable, toda vez que han sido comprobados la fiabilidad con el alfa de Cronbach de la variable metodología ergonómica, para la adaptación de puestos de trabajo para personas con discapacidad física en la ciudad de Riobamba.

Al análisis de las dimensiones de la variable Independiente, tenemos que la dimensión demanda del puesto y la variable organización del trabajo no aportan significativamente al instrumento en la fiabilidad, por tal razón se eliminaron 5 preguntas hasta alcanzar un valor de 0.79, valor aceptable para aplicar el instrumento.

En la variable puesto de trabajo tenemos que la valoración del alfa de Cronbach es de 0,953, que es una valoración alta que se encuentra entre la escala superior a 0,8 que equivale a que el cuestionario se encuentra entre bueno y superior, lo que demuestra que el instrumento aporta significativamente y puede ser aplicada en nuestro medio.

### **Conclusiones**

Con la investigación realizada se pudo conocer la realidad de las personas con discapacidad física insertados laboralmente en el sector público de la ciudad de Riobamba, su entorno; las dificultades para adaptarse en su puesto de trabajo y conseguir el pleno empleo, para esta manera dar énfasis a los problemas de la adaptación de puestos de trabajo de las personas con discapacidad ligada con la prevención de Riesgos Laborales.

Con la adecuación de la metodología ergonómica se espera que la demanda de la labor no supere la capacidad de la persona, que el puesto de trabajo sea accesible y que no se produzca el deterioro de las limitaciones funcionales existentes y/o el surgimiento de nuevas limitaciones funcionales de su discapacidad sino por el contrario buscar cada vez la satisfacción laboral.

### **Referencias**

- Echeverría, B. (1995). Orientación profesional. En: *Actas Congreso Nacional sobre Orientación y Evaluación Educativa. La Coruña*. Facultad de Humanidades, Universidad de La Coruña.
- Lucas, S. (2005). *Orientación profesional e inserción socio laboral de personas con discapacidad intelectual*. Valladolid. España: Editorial Universidad de Valladolid.
- Murillo, W. (2007). La investigación científica. Recuperado de: <http://www.Monografias.com/trabajos15/invest-cientifica.shtml>.



Pallisera, M., Fullana, J., y Vila, M. (2005). La inserción laboral de personas con discapacidad. Desarrollo de tres investigaciones acerca de los factores favorecedores de los procesos de inserción *Revista de investigación educativa*, 23, (2), pp. 303-304

Sánchez, A. (2016). Estrategias metodológicas para el estudio de la inserción socio laboral de las personas con discapacidad. *Revista Española de Discapacidad*, 4 (1) pp. 97-117.

# Caracterización dimensional de modelos constructivos de vivienda de interés social construidos en Guayaquil-Ecuador

**Byron Sebastián Almeida Chicaiza**

Universidad Politécnica de Madrid, Universidad de Guayaquil  
arqsebastianalmeida@gmail.com

**Jesús Anaya Díaz**

Universidad Politécnica de Madrid.  
jesusanayadiaz@gmail.com

**Jesús Rafael Hechavarría Hernández**

Universidad de Guayaquil.  
jesusr2h@gmail.com

## Resumen

El presente trabajo consiste en un estudio analítico de los modelos constructivos que representan aproximadamente 237.886 soluciones habitacionales, utilizadas en cuatro proyectos de vivienda de interés social en Guayaquil. El objetivo es establecer directrices de diseño que permitan perfeccionar los diseños utilizados para la tipología de vivienda. En los proyectos seleccionados, residen aproximadamente 903.966 personas, lo cual representa el 47,47% de la población de Guayaquil que actualmente vive en barrios populares. El análisis se ha realizado de forma cronológica y sintetiza información referente a: dimensiones y áreas, así como relaciones de aspecto que están relacionadas directamente a las condiciones técnicas y características de los componentes de la edificación. La metodología incluye una recolección de datos en instituciones a cargo del desarrollo de esta tipología de vivienda, antecedentes de archivos históricos y de empresas que han tenido a su cargo el diseño y la construcción de estos inmuebles. Los resultados obtenidos permiten establecer características técnicas y espaciales para la propuesta de arquetipos concebidos bajo un enfoque sistémico, identificando aspectos importantes como superficies utilizadas, ratio largo-ancho y materiales empleados que se convierten en un punto de partida para nuevos proyectos.

**Palabras claves:** Vivienda de interés social, Caracterización dimensional, Modelos constructivos.

## Abstract

The present work consists of an analytical study of the construction models that represent approximately 237 886 housing solutions used in four projects of social housing in Guayaquil. The objective is to establish design guidelines that allow perfecting the designs used for this typology of housing. In the selected projects, approximately 903 966 people reside, which represents 47.47% of the population of Guayaquil that currently lives in popular neighborhoods. The analysis has been carried out in a chronological manner and synthesizes information regarding: dimensions and areas, as well as aspect relationships that are directly related to the technical conditions and characteristics of the building components. The methodology includes a collection of data in institutions in charge of the development of this housing typology, history of historical archives and companies that have been in charge of the design and construction of these properties. The results obtained allow to establish technical and spatial characteristics for the proposal of archetypes conceived under a systemic approach, identifying important aspects such as surfaces used, long-width ratio and materials used that become a starting point for new projects.

**Keywords:** Social housing, Dimensional characterization, Building models.

## Introducción

### La vivienda de interés social en Guayaquil

La población mundial se duplicará para el año 2050, según indican las Naciones Unidas en la Nueva Agenda Urbana (UN-Habitat-III, 2017), y es ésta una de las causas por las cuales se han intensificado los esfuerzos por combatir el déficit de vivienda a nivel mundial. Los proyectos de vivienda de interés social (VIS) construidos en el Ecuador han priorizado resolver el déficit cuantitativo dejando en segundo lugar el aspecto cualitativo de las soluciones habitacionales, no sólo con respecto al uso de materiales, sino también en lo que se refiere a aspectos dimensionales mínimos, mismos que están estrechamente relacionados con el confort de los usuarios.

En el Ecuador los principales promotores de vivienda social han sido: Gobierno Nacional (GN), Gobierno Local (GL) y Organizaciones No Gubernamentales (ONG) y aunque existen algunos casos de producción de vivienda de manera informal o de manera particular, no se hablará de ellos en este estudio.

Se ha analizado el crecimiento de Guayaquil para identificar aspectos relevantes que permitan clasificar mejor la información, en Guayaquil, a lo largo del tiempo se han formado distintos tipos de agrupamientos formales o informales tales como barrios, ciudadelas, urbanizaciones y cooperativas; estos surgieron en diferentes épocas productivas tal como lo indica (Solano & Villacres, 2011), entre las tenemos: Cacaotera (1880-1930), Bananera (1938-1984), Petrolera (1970-1990) y Globalización (1990-2010); además, para complementar esta clasificación, se ha determinado una nueva época productiva (2011-2017) a la que se ha denominado “Bonanza petrolera-endeudamiento”.

Las actuaciones de los principales promotores de vivienda mencionados, se registran en el cuadro 1, es así que el Seguro Social (GN) registra 6033 soluciones habitacionales que fueron construidas a lo largo de 46 años comprendidos entre la creación de la institución en 1942 (Sánchez, 2014) hasta el año 1987, época productiva definida en este estudio como “Cacaotera”; esto nos da un promedio de producción anual de 131 unidades habitacionales. En el caso del actualmente desaparecido organismo gubernamental, la Junta Nacional de la Vivienda (GN), se cuenta con un registro de 35 766 soluciones habitacionales construidas a lo largo de 29 años, en una época productiva “Bananera/Petrolera” lo que arroja un promedio de producción anual de 1233 unidades habitacionales. En cuanto al Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda MIDUVI (GN), esta institución ha construido 70 778 soluciones habitacionales en un periodo de 19 años, en una época productiva definida como de “Globalización/Bonanza petrolera-endeudamiento”, con un promedio de 3725 unidades habitacionales por año. A continuación, la M.I. Municipalidad de Guayaquil, con 45 643 soluciones habitacionales que han sido ejecutadas en un periodo de 15 años, dentro de la misma época productiva de “Globalización/Bonanza petrolera-endeudamiento”, resultando en un promedio anual de 3042 unidades habitacionales.

Todos los proyectos anteriormente referidos, han sido enmarcados dentro de una época definida ya que cuentan con un inicio de planificación y fin de construcción claramente establecido, sin embargo el proyecto restante, responde mas bien a un plan de una ONG llamada Hogar de Cristo, que apareció por primera vez en el año 1971 (HogardeCristo, 2012) y que ha seguido produciendo viviendas dentro de la zona del litoral, especialmente en Guayaquil, con tipologías de vivienda de madera con caña principalmente, aunque actualmente han incluido otros modelos constructivos que usan también otros materiales. La institución registra 185 927 soluciones habitacionales entre los años 1971 y 2012 (42 años), con un promedio anual de 4426 unidades habitacionales.



### **Importancia del problema**

Según datos censales del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) del año 2010 (INEC, 2017), se estima que la población del Ecuador pasará de 15 012 228 habitantes en el año 2010 a 27 789 458 habitantes para el año 2050. En Guayaquil, por ejemplo, la población aumentará de 2 440 553 a 3 785 803 habitantes. Según la proyección de la datos censales, actualmente Guayaquil tiene una población de 2 644 891 habitantes; si en el 2015 la población que vivía en barrios populares de Guayaquil alcanzó su máxima histórica con un 72% de la población (Fuentes Forero & Hernández Hechavarría, 2015); en el 2017 la población que vive en este sector habría alcanzado un aproximado de 1 904 322 habitantes y, considerando un promedio de 3,8 habitantes por vivienda (Almeida, 2017), esto equivaldría a 696 024 unidades habitacionales.

El estudio realizado abarca 4 proyectos habitacionales para viviendas de interés social (ver Fig. 1), que conjuntamente albergan un aproximado de 903 966 habitantes en 237 886 soluciones habitacionales (ver cuadro 2) referidas a 27 modelos (ver cuadro 3), lo cual representa un 47,47% de la población actual que reside en barrios populares.

Los proyectos considerados son: Socio Vivienda 1y Socio Vivienda 2, Mi lote 1 y Mi Lote 2; Mucho Lote 1 y Mucho Lote 2 y Viviendas Hogar de Cristo. El análisis se ha realizado para una tasa de crecimiento nacional de 0,0155 y una tasa de crecimiento regional de 0,011 como promedio, según los datos de proyección de la población ecuatoriana por años calendario (INEC, 2017). Este aumento de población, confirma la necesidad de prestar especial atención a esta tipología de vivienda, buscando mejorar las condiciones de habitabilidad y confort de las viviendas; por lo cual se vuelve indispensable realizar un análisis de los proyectos más representativos de la ciudad.

**Tabla 2.**

Modelos de VIS, proyectos, etapas, cantidad de soluciones habitacionales

Entidad	Promotor	Identificación	Nombre proyecto	Etapas	Unidades por etapa	Modelos	Total unidades			
Gobierno Nacional	MIDUVI	Proyecto 1	Socio vivienda 1	Fase 1	227	Villa SV1.	2817			
				Fase 2	1339	Villa SV1. Departamento SV1.				
				Fase 3	900	Villa SV1.				
				Fase 4	351	Villa SV1.				
			Socio vivienda 2	Etapa 1	3027	Villa SV2. E1	3499			
				Etapa 2	472	Villa SV2. E2 Departamentos SV2.				
			Gobierno Local	M.I. Municipalidad de Guayaquil	Proyecto 2	Mi lote 1	Etapa 1A	5369	Modelo Antonella, Modelo Anabella, Modelo Fiorella, Modelo Isabella, Modelo Leonella,	13758
							Etapa 2A	2864	Modelo Pilar, Modelo Violeta, Adriana Residencial, Adriana Comercial	
						Mi lote 2			Modelo Zafiro, Modelo Rubí, Modelo Esmeralda	10000
Mucho lote 1						Etapa 1	2939	Modelo Dalia,	14152	
						Etapa 2	2188	Modelo Violeta, Villa Victoria 63, Victoria Real, Villa Sofía, Villa Elene Full, Villa Pilar Básica. Villa Cristina Full, Villa Irene.		
						Etapa 3	2194	Modelos varios		
						Etapa 4	1742	construidos por propietarios		
						Etapa 5	1832			
						Etapa 6	1150			
			Etapa 7	2107						
Mucho lote 2	Proyecto 3	Paraíso del Río 1			2219	Modelo Dalia, Modelo Violeta	7733			
			Paraíso del río 2							
		Victoria del río				3166		Villa Victoria 3, Victoria Real		
			Plaza Victoria			986		Villa Sofía, Villa Elena Full, Villa Pilar Básica, Villa Cristina Full, Villa Irene		
		Villa España 1				662				
			Villa España 2			700				
ONG's	Fundación Hogar de Cristo	Proyecto 4		Viviendas Hogar de Cristo	Ubicaciones diferentes	N/A	Madera y caña 4,80x4,90 madera y MDP 4,80x4,90	185927		
<b>Total</b>							<b>237886</b>			

**Fuente:** Elaborado por Almeida, B. (2017), información de las instituciones promotoras.

**Tabla 3.**

Modelos de VIS utilizados en diferentes proyectos habitacionales. Unidades construidas.

<b>N°</b>	<b>Modelo</b>	<b>Numero de Platas</b>
1	Villa S/N Socio Vivienda 1 (SV1)	Una planta
2	Villa S/N Socio Vivienda 2 Etapa 1 (SV2E1)	
3	Antonella	
4	Anabella	
5	Fiorella	
6	Isabella	
7	Leonella	
8	Pilar	
9	Zafiro	
10	Elena Full	
11	Madera-Caña o Madera-MDP: 4.80x4.90	
12	Madera-Caña o Madera-MDP: 7.70x4.80	
13	MACAHO súper económica	
14	MACAHO Básica	
15	Villa S/N Socio vivienda 2 etapa 2 (SV2E2)	Dos plantas
16	Violeta	
17	Adriana residencial	
18	Adriana comercial	
19	Rubi	
20	Esmeralda	
21	Dalia	
22	Victoria 3	
23	Victoria real	
24	Sofía	
25	Pilar Básica	
26	Cristina Full	
27	Irene	

**Fuente:** Elaborado por Almeida, B. (2017), información de las instituciones promotoras.

### **Metodología**

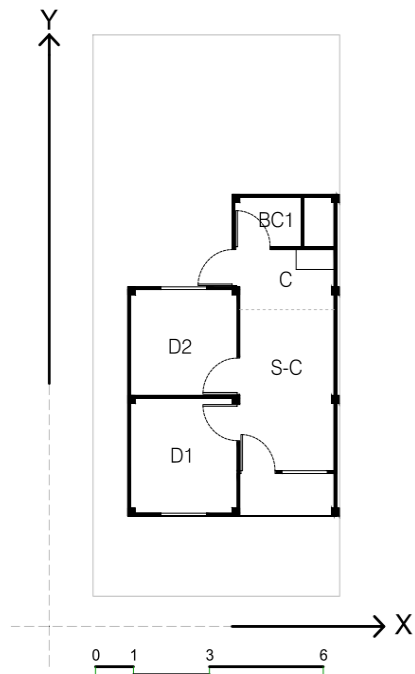
El procedimiento que se ha seguido para este trabajo, incluye una búsqueda de información de instituciones promotoras de VIS tanto públicas como privadas; información que ha incluido planos arquitectónicos definitivos y fichas técnicas. Algunos de los datos no han podido ser obtenidos en las instituciones por lo que se ha tenido que realizar levantamiento en campo para verificar dimensiones.

Para realizar el análisis comparativo, se clasifican los modelos por el número de plantas que poseen, estableciendo dos grupos: viviendas de una planta y viviendas de dos plantas.

Se han analizado: sala-comedor, cocina, baños completos (el baño de visitas se ha definido a los medios baños, pero debido a que no están presentes en todos los modelos, se han dejado fuera), dormitorio principal (que en este caso es el de mayor área) y dormitorios secundarios. En los dormitorios existen espacios tales como closets, motivo por el cual para el cálculo se ha realizado na subdivisión en parte 1 y parte 2 pero que se

suman para dar el área total; a relación de aspecto o ratio, se definió con las dimensiones del espacio de mayor tamaño del dormitorio.

Se ha asignado una nomenclatura a cada espacio (ver Figura 1), se han empleado ejes de referencia para especificar las dimensiones de cada uno de los espacios, datos que se han procesado a través del uso de tablas (ver cuadro 4) en donde se consolida la información y se obtienen las áreas y ratios (relación de aspecto).



**Figura 1.**

Izq.: Plano arquitectónico y referencia visual de ejes. Der. Sup.: Vista aérea Plan Socio Vivienda 1. Der. Inf.: Vivienda construida antes de entrega a propietario

**Fuente:** Plano elaborado por Almeida, B (2017). Fotografías. MIDUVI (2015).



**Tabla 4.**

Cuadro tipo, dimensionamiento, áreas y ratio. Ejemplo: Villa S/N Socio Vivienda 1

<b>Modelo S/N Villa socio vivienda 1</b>						
<b>Simbología</b>	<b>Espacio</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Área parcial</b>	<b>Área total</b>	<b>Ratio (DIM mayor / DIM menor)</b>
S-C	Sala comedor	2,49	4,02	10,01	10,01	1,61
C	Cocina	2,49	1,50	3,74	3,74	1,66
BC1	Baño completo 1	2,62	1,23	3,22	3,22	2,13
BC2	Baño completo 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BC3	Baño completo 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BV	Baño visitas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D1-p1	Dormitorio 1 parte 1 (Principal)	2,81	2,87	8,06	8,06	1,02
D1-p2	Dormitorio 1 parte 2 (Principal)	0,00	0,00	0,00		
D2-p1	Dormitorio 2 parte 1	2,81	2,64	7,42	7,42	1,06
D2-p2	Dormitorio 2 parte 2	0,00	0,00	0,00		
D3-p1	Dormitorio 3 parte 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D3-p2	Dormitorio 3 parte 2	0,00	0,00	0,00		
D4-p1	Dormitorio 4 parte 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D4-p2	Dormitorio 4 parte 2	0,00	0,00	0,00		

**Fuente:** Elaborado por Almeida, B. (2017), información obtenida de las instituciones promotoras

Una vez procesada la información, se obtienen cuadros que representen áreas por espacio para cada modelo de vivienda; en los que se puede apreciar modelos que tienen espacios pequeños y otros con espacios grandes; por ejemplo, si se observa en el cuadro 5, para el espacio “Dormitorio 1”, se puede identificar que el modelo de una planta que tiene menor área de dormitorio 1 es el Modelo S/N de Socio Vivienda 2 Etapa 1 con 6,36m<sup>2</sup> y el modelo que tiene la mayor superficie es el Modelo Rubí con 15.59 m<sup>2</sup>.

**Tabla 5.**

Cuadro tipo, consolidado de áreas por espacio, para cada modelo de vivienda de una planta

Consolidado AREAS por espacio, por modelo de vivienda. (Unidad: m2)

Simbología	Espacio	Vivienda de una planta													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
		Modelo S/N Villa socio	Modelo S/N Villa Socio Vivienda 2 Fianza 1	Antonella	Anabella	Fiorella	Isabella	Leonella	Pilar	Zafiro	Elena Full	Madera-Caña o Madera: MDP: 4 80x4 90	Madera-Caña o Madera: MDP: 7.70x4.80	MACAHO super económica	MACAHO Básica
S-C	Sala comedor	10,01	12,18	13,97	13,63	10,83	15,21	12,48	19,78	15,76	13,85	9,40	11,05	11,75	8,48
C	Cocina	3,74	3,57	5,42	7,05	3,14	5,32	4,24	4,29	4,84	6,57	5,52	0,00	0,00	6,20
BC1	Baño completo 1														
BC2	Baño completo 2	3,22	2,30	2,85	2,28	2,09	1,81	1,73	2,55	2,60	2,35	0,00	0,00	0,00	8,00
BC3	Baño completo 3														
BV	Baño visitas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D1-p1	Dormitorio 1 parte 1 (Principal)	8,06	6,36	9,55	9,55	8,12	8,12	8,12	11,11	12,52	6,42	5,52	5,41	6,00	6,00
D1-p2	Dormitorio 1 parte 2 (Principal)														
D2-p1	Dormitorio 2 parte 1														
D2-p2	Dormitorio 2 parte 2														
D3-p1	Dormitorio 3 parte 1	7,42	6,02	8,27	6,32	8,12	6,58	6,58	8,08	10,79	6,94	0,00	5,42	0,00	0,00
D3-p2	Dormitorio 3 parte 2														
D4-p1	Dormitorio 4 parte 1														
D4-p2	Dormitorio 4 parte 2														

Simbología	Espacio	Vivienda de una planta														
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	Promedio de áreas	
		Villa S/N Socio vivienda 2 etapa 2 (SV2E2)	Violeta	Adriana residencial	Adriana comercial	Rubi	Esmeralda	Dalia	Victoria 3	Victoria real	Sofía	Pilar Básica	Cristina Full	Irene		
S-C	Sala comedor	12,46	10,88	12,04	12,18	16,56	21,42	12,18	20,16	17,64	15,68	15,68	14,56	19,72	14,06	
C	Cocina	4,40	6,86	5,52	6,72	7,74	14,10	4,92	7,80	8,12	3,78	3,78	4,20	5,75	5,74	
BC1	Baño completo 1															
BC2	Baño completo 2	2,94	2,90	2,55	2,55	2,88	3,50	3,36	2,89	3,51	2,20	2,20	2,20	2,65	2,84	
BC3	Baño completo 3															
BV	Baño visitas	2,20	1,83	0,00	0,00	1,41	1,29	1,72	1,71	1,52	1,62	1,62	1,62	1,08	1,60	
D1-p1	Dormitorio 1 parte 1 (Principal)	6,34	9,10	8,93	11,33	15,59	11,71	12,17	10,08	11,20	6,96	6,96	8,99	8,16	8,82	
D1-p2	Dormitorio 1 parte 2 (Principal)															
D2-p1	Dormitorio 2 parte 1															
D2-p2	Dormitorio 2 parte 2															
D3-p1	Dormitorio 3 parte 1	5,53	9,45	8,73	8,94	11,87	12,61	8,31	8,86	12,26	7,44	8,99	8,06	7,26	8,34	
D3-p2	Dormitorio 3 parte 2															
D4-p1	Dormitorio 4 parte 1															
D4-p2	Dormitorio 4 parte 2															

Si existe un valor de cero (0), se debe a la ausencia del espacio en el modelo de vivienda  
El "baño de visitas" se considera a un medio baño, es decir sin ducha

**Fuente:** Elaborado por Almeida, B. (2017), información obtenida de las instituciones promotoras

En el caso de una habitación de 16m<sup>2</sup> por ejemplo, similar a la del Modelo Rubí, la información no sería clara ya se puede tratar de una habitación de 16,00m de largo por 1,00m de ancho, como también puede ocurrir que sea una habitación de 4,00m de largo por 4,00m de ancho. Por este motivo se hace necesario determinar la

relación de aspecto o ratio, que para este estudio se ha determinado como: Ratio= Dimensión mayor / Dimensión menor (ver cuadro 4); que para el momento de realizar el cuadro consolidado (ver cuadro 6) se ha decidido que en ciertos espacios como por ejemplo las habitaciones, la ratio sea únicamente del espacio sin tomar en cuenta los closets o espacios adicionales identificados como “parte 2” en los cuadros.

**Tabla 6.**

Cuadro tipo, consolidado de ratios por espacio, para cada modelo de vivienda

Consolidado RATIO Dimensión mayor / Dimensión menor, por espacio y por modelo de vivienda. (Unidad: adimensional)

		Vivienda de una planta													
Simbología	Espacio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
		Modelo S/N Villa socio	Modelo S/N Villa Socio	Vivienda 2 Firma 1	Antonella	Anabella	Fiorella	Isabella	Leonella	Pilar	Zafiro	Elena Full	Madera-Caña o Madera-MDP: 4.80x4.90	Madera-Caña o Madera-MDP: 7.70x4.80	MACAHO super económica
S-C	Sala comedor	1.61	1.83	1.72	2.47	1.33	1.00	1.22	1.27	1.60	1.67	1.70	2.00	2.13	1.32
C	Cocina	1.66	1.59	1.50	1.28	1.15	1.47	1.66	1.12	2.04	1.30	1.00	0.00	0.00	1.01
BC1	Baño completo 1														
BC2	Baño completo 2	2.13	2.30	1.27	1.58	1.73	2.01	1.30	1.51	2.00	1.55	0.00	0.00	0.00	3.13
BC3	Baño completo 3														
BV	Baño visitas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D1-p1	Dormitorio 1 parte 1 (Principal)	1.02	1.10	1.12	1.18	1.00	1.04	1.02	1.29	1.21	1.33	1.00	1.02	1.00	1.00
D1-p2	Dormitorio 1 parte 2 (Principal)														
D2-p1	Dormitorio 2 parte 1														
D2-p2	Dormitorio 2 parte 2														
D3-p1	Dormitorio 3 parte 1	1.06	1.17	1.02	1.31	1.00	1.24	1.02	1.08	1.05	1.20	0.00	1.00	0.00	0.00
D3-p2	Dormitorio 3 parte 2														
D4-p1	Dormitorio 4 parte 1														
D4-p2	Dormitorio 4 parte 2														

		Vivienda de una planta														
Simbología	Espacio	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	Promedio de artes	
		Villa S/N Socio vivienda 2 etapa 2 (SV2E2)	Violeta	Adriana residencial	Adriana comercial	Rubi	Esmeralda	Dalia	Victoria 3	Victoria real	Sofia	Pilar Básica	Cristina Full	Irene		
S-C	Sala comedor	1.59	1.06	1.54	1.55	1.39	1.85	1.11	2.57	2.25	2.00	2.00	1.86	1.71	1.68	
C	Cocina	1.10	1.14	1.04	1.17	1.60	1.03	1.50	1.15	1.04	1.17	1.17	1.05	1.09	1.28	
BC1	Baño completo 1															
BC2	Baño completo 2	1.50	1.78	1.68	1.68	2.09	2.43	1.33	2.01	1.62	1.82	1.82	1.82	2.00	1.84	
BC3	Baño completo 3															
BV	Baño visitas	1.82	1.23	0.00	0.00	1.11	1.21	1.59	2.11	2.38	2.00	2.00	2.00	1.33	1.71	
D1-p1	Dormitorio 1 parte 1 (Principal)	1.37	1.04	1.14	1.14	1.57	1.14	1.16	1.29	1.43	1.21	1.21	1.07	1.42	1.17	
D1-p2	Dormitorio 1 parte 2 (Principal)															
D2-p1	Dormitorio 2 parte 1															
D2-p2	Dormitorio 2 parte 2															
D3-p1	Dormitorio 3 parte 1	1.39	1.02	1.08	1.16	1.11	1.13	1.02	1.16	1.51	1.20	1.07	1.29	1.37	1.15	
D3-p2	Dormitorio 3 parte 2															
D4-p1	Dormitorio 4 parte 1															
D4-p2	Dormitorio 4 parte 2															

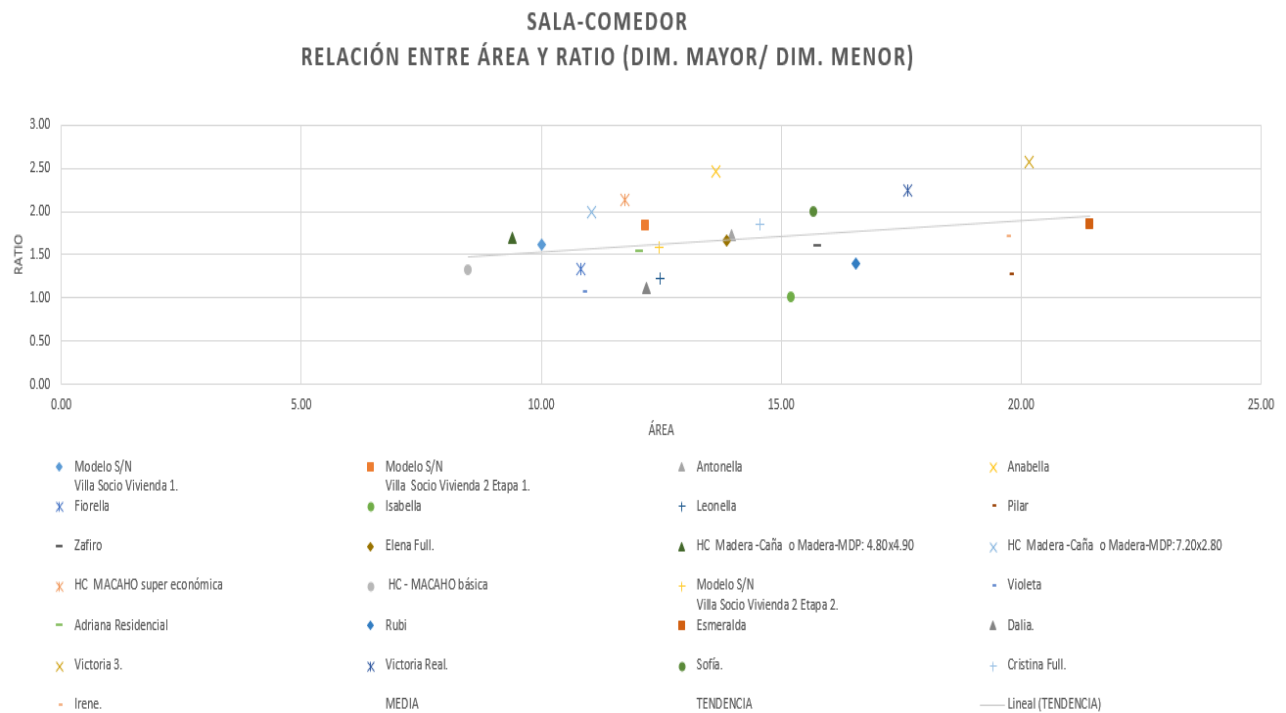
Si existe un valor de cero (0), se debe a la ausencia del espacio en el modelo de vivienda  
El “baño de visitas” se considera a un medio baño, es decir sin ducha

**Fuente:** Elaborado por Almeida, B. (2017), información obtenida de las instituciones promotoras

Cuando uno de los valores de ratio representados en el cuadro 6 se acerca a 1 (no existirán valores menores que 1) significa que la forma de nuestro espacio tiende a ser más cuadrada, mientras que cuando el valor aumenta, el espacio en cuestión tendrá una forma más rectangular o alargada.

### Resultados y discusión

Se han procesado los datos de los 27 modelos utilizados en los 4 proyectos estudiados. Esta información se ha representado a través de gráficas de dispersión que relacionan la ratio y el área de cada uno de los espacios de cada vivienda, obteniendo así gráficas comparativas de los modelos estudiados para cada uno de los espacios, las cuales se muestran a continuación:

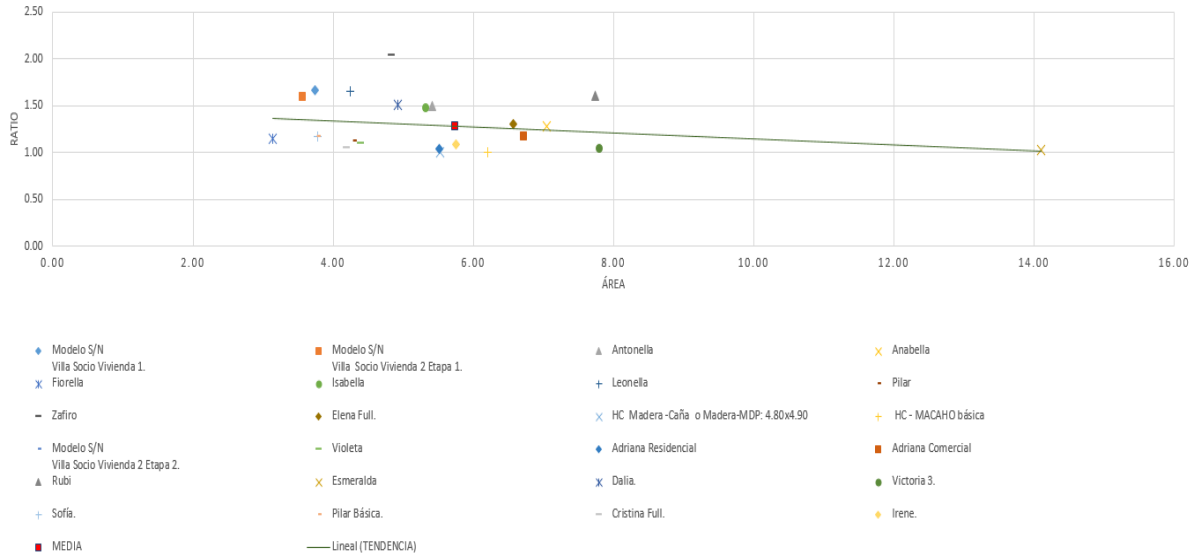


**Gráfica 1.**

Gráfico de dispersión. Área vs ratio en sala-comedor por modelo de vivienda

**Fuente:** Elaborado por Almeida, B. (2017)

**COCINA**  
**RELACIÓN ENTRE ÁREA Y RATIO (DIM. MAYOR/ DIM. MENOR)**

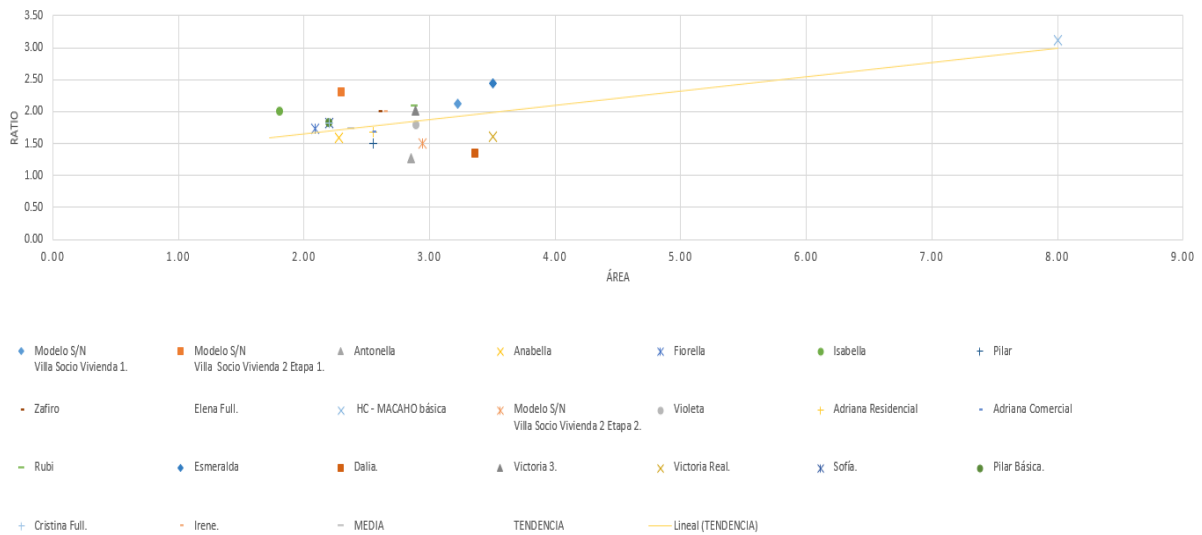


**Gráfica 2.**

Gráfico de dispersión. Área vs ratio en cocina por modelo de vivienda

**Fuente:** Elaborado por Almeida, B. (2017)

**BAÑOS COMPLETOS**  
**RELACIÓN ENTRE ÁREA Y RATIO (DIM. MAYOR/ DIM. MENOR)**

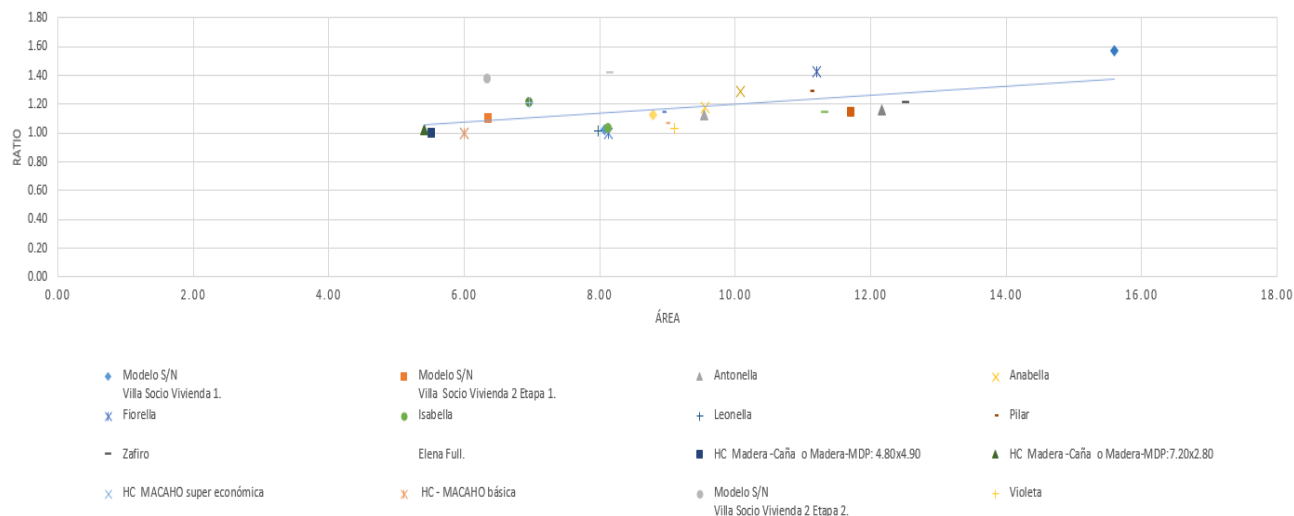


**Gráfica 3.**

Gráfico de dispersión. Área vs ratio en baños completos, por modelo de vivienda

**Fuente:** Elaborado por Almeida, B. (2017)

### DORMITORIOS PRINCIPALES RELACIÓN ENTRE ÁREA Y RATIO (DIM. MAYOR/ DIM. MENOR)

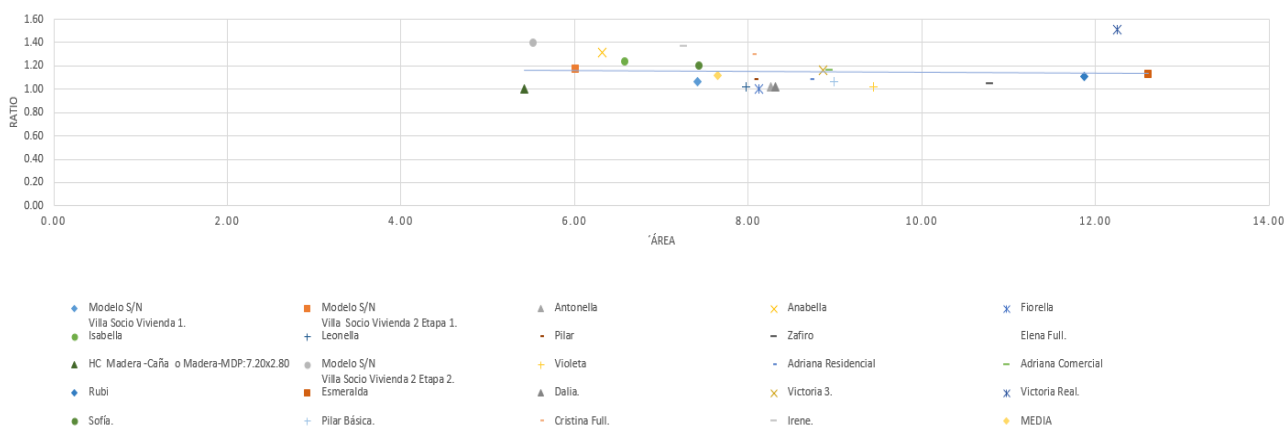


**Gráfica 4.**

Gráfico de dispersión. Área vs ratio en dormitorios principales, por modelo de vivienda

**Fuente:** Elaborado por Almeida, B. (2017)

### DORMITORIOS SECUNDARIOS RELACIÓN ENTRE ÁREA Y RATIO (DIM. MAYOR/ DIM. MENOR)



**Gráfica 5.**

Gráfico de dispersión. Área vs ratio en dormitorios secundarios, por modelo de vivienda

**Fuente:** Elaborado por Almeida, B. (2017)

Basado en las recomendaciones mínimas del Código de Edificación de la vivienda de México (Vivienda, 2010) que se muestran en el cuadro 7; una “estancia-comedor” (sala-comedor) debería tener una superficie de 12,00m<sup>2</sup> en conjunto, haciendo la comparación con los datos obtenidos en campo, se ha podido verificar que de los 27 modelos estudiados, 20 sí cumplen con esta dimensión recomendada, lo que representa un 74% de los modelos.

**Tabla 7.**

Dimensiones libres mínimas para espacios habitables y auxiliares

<b>Espacio habitable</b>	<b>Área mínima</b>	<b>Lado mínimo</b>
Estancia	7.29 m <sup>2</sup>	2.70 m
Comedor	4.41 m <sup>2</sup>	2.10 m
Recámara	7.29 m <sup>2</sup>	2.70 m
Alcoba	3.60 m <sup>2</sup>	2.00 m
Espacio auxiliar		
Cocina	3.30 m <sup>2</sup>	1.50 m
Baño	2.73 m <sup>2</sup>	1.30 m
V2 baño rectangular	1.69 m <sup>2</sup>	1.30 m
V2 baño alargado	1.44 m <sup>2</sup>	0.80 m
Lavandería	2.56 m <sup>2</sup>	1.60 m
Patio	1.96 m <sup>2</sup>	1.40 m
Patio-Lavandería	2.66 m <sup>2</sup>	1.40 m
Espacios Superpuestos		
Estancia-Comedor	12.00 m <sup>2</sup>	2.70 m
Estancia-Comedor-Cocina	14.60 m <sup>2</sup>	2.70 m
Más clóset mínimo de 0.60 m por 1.50m. Cuando se requiera de recipientes de gas en el patio- lavandería, la distancia entre la salida del recipiente de gas y cualquier punto de ignición, dentro o fuera de la vivienda, debe ser de 1.50 m como mínimo.		

**Fuente:** Código de edificación de vivienda 2010, Gobierno Federal de México

Para el caso de los baños completos, deberían tener una superficie de 2.73m<sup>2</sup>, y se ha comprobado que 20 de los 38 baños sí cumplen con esta condición, lo que representaría un 53% de la totalidad.

Finalmente, si hacemos referencia a las “recámaras” (dormitorios), los cuales deberían tener como mínimo 7,29m<sup>2</sup> de superficie, se ha comprobado que 46 de 68 habitaciones sí cumplen con esta condición, y esto representa un 68% de la totalidad de habitaciones analizadas.

Los datos reflejan que, dimensionalmente hablando, los modelos de vivienda estudiados, han superado las expectativas, y aunque en algunos casos sólo la mitad cumple con los requisitos del código referido, se pensaba que sería raro algún caso que cumpliera con estos requisitos.

Actualmente el Gobierno Nacional en busca de eliminar el déficit cuantitativo de vivienda, ha promovido el programa conocido como “Plan Casa Para Todos”, en donde se prevee construir 325 mil viviendas en cuatro años de gobierno y se contará con un presupuesto inicial de 500 millones de dólares (Comercio, 2017). Esto nos arroja un promedio de 81 250 unidades habitacionales por año, a nivel nacional, cifra muy cercana a las 344mil unidades construidas por estos promotores en Guayaquil a lo largo de 70 años (mostradas en el cuadro 1).

Según se establece en el Proyecto Socio Vivienda registrado en la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo del Ecuador SENPLADES, con el código CUP: 00101677, entre el 2011 y el 2017, se planificaba

entregar 15 438 viviendas, pero a la fecha se han entregado 5844 soluciones habitacionales. Es así que surge la incógnita, ¿se podrá cumplir con la meta planteada? O acaso sería mejor atender el déficit cuantitativo sin dejar de lado el aspecto cuantitativo y revisar analíticamente las opciones que se tienen.

### Conclusiones

Analizar los proyectos de vivienda ya ejecutados, es necesario para hacer propuestas de mejores diseños, más agradables y funcionales para el usuario. Este análisis, además de determinar si cumplen o no con los requerimientos mínimos dimensionales, permiten también la realización de nuevas investigaciones enfocadas en distribuciones más adecuadas de los espacios, diseño de mobiliario para viviendas mínimas, así como una revisión de las dimensiones más convenientes para la lotización de los terrenos a urbanizar que va estrechamente relacionado con la orientación y consecuente confort térmico para los usuarios.

Finalmente, se pretende desarrollar futuras investigaciones enfocadas en la determinación de sistemas constructivos más adecuados para ser usados en nuestro medio de acuerdo a las tendencias actuales, evaluando también, una posible industrialización por componentes, así como la conceptualización y materialización de un prototipo de vivienda basado en componentes.

### Agradecimiento

Un agradecimiento a la Universidad Politécnica de Madrid, especialmente al Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, así como también a la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Guayaquil (UG). Un agradecimiento especial al grupo de investigación VIS de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UG y a todas las instituciones gubernamentales y ONGs que han compartido la información necesaria para la elaboración de este estudio.

### Referencias

- Almeida, V. (2017) *Promedio de Personas por Hogar a Nivel Nacional U. de P. (UP) de la D. de E. A. E. (DESAE)* Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) Retrieved from [http://www.inec.gob.ec/tabulados\\_CPV/28\\_Promedio%20de%20Personas%20por%20Hogar.xl](http://www.inec.gob.ec/tabulados_CPV/28_Promedio%20de%20Personas%20por%20Hogar.xl)
- Comercio, El. (2017). *Plan de vivienda arrancará con un presupuesto de USD 500 millones.* (El. Comercio, Ed.). Retrieved from <https://www.elcomercio.com/actualidad/plan-todaunavida-construccion-casas-leninmoreno.html>
- CYTED (2004). *La participación en el diseño urbano y arquitectónico en la producción social del habitat.* (CYTED, Ed.). Retrieved from [http://www.hic-al.org/documentos/libro\\_cyted.pdf](http://www.hic-al.org/documentos/libro_cyted.pdf)
- Fuentes Forero, B., & Hernández Hechavarría, J. R. (2015). *TUS 015. Análisis de las condiciones de confort térmico en el interior de las viviendas del complejo habitacional socio vivienda 2, etapa 1, en la ciudad de Guayaquil, Ecuador.* 3er Congreso Científico Internacional p. 128. Guayaquil, Ecuador.
- Hogar de Cristo (2012). *En el corazón de la esperanza. Memoria Institucional. Hogar de Cristo.*
- INEC (2017). *Proyección de la población ecuatoriana, por años calendario, según cantones 2010-2020.* Retrieved from <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>



- Peek, M. Olga; Hordijk, & D'Auria, V. (2017). User-based design for inclusive urban transformation: learning from “informal” and “formal” dwelling practices in Guayaquil, Ecuador. *International Journal of Housing Policy*. Retrieved from [http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19491247.2016.1265268?Scroll=top&nec\\_dAccess=true](http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19491247.2016.1265268?Scroll=top&nec_dAccess=true)
- Sánchez, B. (2014). *Mercado de suelo informal y políticas de hábitat urbano en la ciudad de Guayaquil*. Retrieved from <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/6677/2/TFLACSO-2014BPSG.pdf>
- Solano, A., & Villacres, C. (2011). Categorización y definición socio espacial del barrio como unidad básica territorial. (U. C. de Guayaquil, Ed.) *AUC Revista de Arquitectura*, 31. Retrieved from <https://issuu.com/revistaauc/docs/auc-31>
- UN-Habitat-III. (2017). *Nueva Agenda Urbana*. In N. Unidas (Ed.) . Retrieved from <http://habitat3.org/wp-content/uploads/NUA-Spanish.pdf>
- Vivienda, C. N. de la. (2010). *Código de Edificación de Vivienda*. (C. A. del Código de Edificación de Vivienda, Ed.). Retrieved from [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/85460/Codigo\\_de\\_Edificacion\\_de\\_Vivienda.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/85460/Codigo_de_Edificacion_de_Vivienda.pdf)

# Plan parcial de intervención social como instrumento de acople e inserción del asentamiento informal Monte Sinaí al contexto de ciudad urbana

**Milagros Fois Lugo**

Universidad de Guayaquil

maria.foisl@ug.edu.ec

**Arturo Mejía**

Secretaria de Hábitat MIDUVI

arturomejiagranizo@gmail.com

**Olga Roa de Rodríguez**

Universidad de Especialidades Espíritu Santo

olgaroa@uees.edu.ec

## Resumen

Los asentamientos informales en general tienen múltiples consecuencias negativas, lo que conlleva a la multiplicación de problemas ambientales, económicos y sociales. Se plantea el reto de “rescatar al hombre como elemento principal y protagonista de la ciudad que él mismo ha construido”, tal como lo expresa *Henry Lefebvre*. Basados en la concepción legal, técnica y social del asentamiento la comunidad nunca recibe lo que por derecho le corresponde, por lo que desde las teorías urbanísticas y con un enfoque integral y sostenible, se propone la recuperación e inserción del sector Monte Sinaí en el contexto de ciudad urbana. Para tal fin, se da inicio al Plan Parcial del Polígono Especial de Intervención Social Monte Sinaí siguiendo la metodología propuesta por la Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo del Ecuador. La investigación se estructura en dos fases y 5 etapas, con el fin de ensamblar teorías urbanísticas a la compleja situación actual del sector, sin producir efectos negativos de tipo social, económicos, entre otros. Permitiendo así incorporar al sector en el marco legal y definir las bases para la construcción de las normativas urbanísticas y los mecanismos de gestión.

**Palabras claves:** Asentamientos informales, Plan parcial, Derecho a la ciudad, Sostenibilidad urbana.

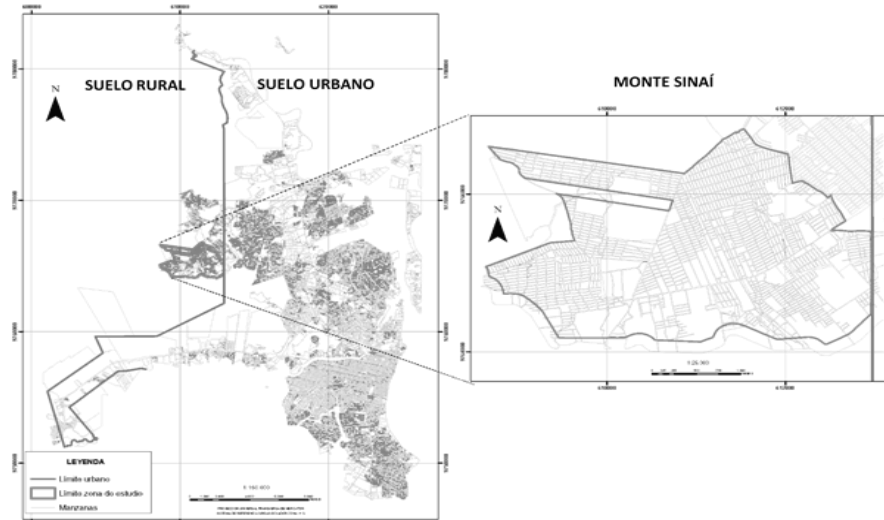
## Abstract

Informal settlements in general have multiple negative consequences, which leads to the multiplication of environmental, economic and social problems. The challenge is to "rescue man as the main element, protagonist of the city that he has built", as expressed by Henry Lefebvre. Based on the legal, technical and social conception of the settlement, the community never receives what it has by right, so from the urbanistic theories and with an integral and sustainable approach, the recovery and insertion of the Mount Sinai sector in the context of urban city. To this end, and following the theoretical bases of urbanism and the methodology proposed by the National Secretariat of Planning and Development of Ecuador a Partial Plan for the social intervention of Monte Sinaí is proposed. The research is structured in two phases and five stages, which will allow to expose the complex current situation of the sector and project a urban proposal join with urbanism approaches of without producing negative effects of social, economic, among others. In this way, it is possible to incorporate the sector into the legal framework and define the bases for the construction of urban regulations and management mechanisms.

**Keywords:** Informal settlements, Partial plan, Right to the city, Urban sustainability.

## Introducción

La ciudad de Santiago de Guayaquil es la más poblada y grande del Ecuador. En 2014 se estima una densidad de población de 7.345,7 hab/km<sup>2</sup>, el asentamiento objeto de estudio se origina en 2005 y es denominado Monte Sinaí con una extensión de 7,72 km<sup>2</sup>, (Figura 1).



**Figura 1.**

Localización del sector en estudio Monte Sinaí.

**Fuente:** Adaptado de “Instituto Geográfico Militar”; “Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda”

Los asentamientos informales tienen múltiples consecuencias negativas (mala calidad de vida, carencia de infraestructura de servicios básicos, falta de equipamientos, escasa oportunidad de empleo y crecimiento desordenado de la ciudad), que multiplican los problemas ambientales, económicos y sociales. Al controlar la situación problemática puede contextualizarse el concepto de ciudad establecido por Henry Lefebvre (1972) “*rescatando al hombre como elemento principal, protagonista de la ciudad que él mismo ha construido*”. Por ello se desarrolla un Plan Parcial del Polígono Especial de Intervención Social Monte Sinaí (PPPEIS), buscando devolver a la comunidad lo que por derecho le corresponde y que debido a la concepción del asentamiento nunca lo ha obtenido.

### Base legal que respalda la propuesta

La viabilidad del estudio no debe socavar los derechos y deberes ciudadanos, así como los compromisos institucionales. El PPPEIS está enmarcado en la *Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo*, Título II de ordenamiento territorial (cap. I, art. 9 y 10) y Título III sobre Planeamiento del Uso y de la Gestión del Suelo (cap.II art.32).

El instrumento guía en la toma de decisiones que otorgan al sector identidad paisajística y cultural, incorporando criterios de sostenibilidad ambiental, social y económica que mejoran la calidad de vida de sus habitantes del sector en estudio será el PPPEIS. Su construcción es un proceso intrincado debido a que se debe acoplar a la compleja situación actual a los marcos legales y urbanísticos, por ello se ha estructurado en cuatro fases: diagnóstico, la propuesta, la normativa urbana y la gestión. La meta trazada es desarrollar las fases de diagnóstico y la propuesta como bases para la construcción de las normativas urbanísticas y los mecanismos de gestión, con el respaldo de dos fuentes legales:

- Ley de legalización de la tenencia de tierras a favor de los moradores y poseionarios de predios (Ley 88), aprobada en el año 2007. Su ejecución logrará la expropiación e indemnización a quien registre como propietario de predios con asentamientos poblacionales irregulares constituidos en ciudadelas, cooperativas de vivienda y lotizaciones, (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2016)
- Ley orgánica de ordenamiento territorial, uso y gestión de suelo (LOOTUS). (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2016).

A inicios del 2017 se contabilizan 133.000 habitantes en Monte Sinaí, duplicando la densidad poblacional media por km<sup>2</sup> (Instituto Geográfico Militar, 2015). Esta población demanda servicios, pero las reglamentaciones vigentes municipales no pueden otorgar servicios en suelo rural. Las acciones en el marco legal corresponderán a la adjudicación de lotes y la legalización de los terrenos en instancias municipales, otorgando títulos de propiedad a las familias posesionarias. En el año 2013, la reforma a la Ley 88 (numerales 36, 42 al 44), suprime los linderos y se agregan coordenadas de posición geográfica. La precisión en la delimitación de los sectores y la agilización de los trámites administrativos, permite la legalización de los terrenos a favor de miles de familias que moran en el sector y sobre los predios declarados de utilidad pública o que pertenezcan al Gobierno Central, y la adjudicación o venta por parte del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Dicha ley establece que el beneficiario no deberá ser propietario de otro inmueble en la provincia del Guayas, incluyendo a su conviviente o cónyuge e hijos dependientes. Adicionalmente, el beneficiario debe poseer el Certificado de Registro de la Propiedad del correspondiente Gobierno Autónomo Descentralizado, evidenciando que no es propietario de otro predio en el cantón.

El crecimiento del asentamiento desafortunadamente ocurrió sin la aplicación de ningún instrumento de ordenamiento territorial y su desarrollo además de haber sido desorganizado e irregular, ocurrió en forma acelerada, produciendo desde el punto de vista técnico baja cobertura de servicios básicos. Adicionalmente, algunos sectores se encuentran en zona de vulnerabilidad, exponiendo a potenciales riesgos por movimientos de masas e inundaciones tanto a los pobladores como a las infraestructuras existentes, por ello la importancia del producto de esta investigación.

### **Desarrollo metodológico de la propuesta**

Las fases de diagnóstico y propuesta del PPPEIS Monte Sinaí se estructuran en fases, la primera consta de tres etapas y la segunda fase de dos etapas, basadas en el enfoque sistémico propuesto por la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (2017). Allí se seleccionan siete componentes de análisis (biofísico, sociocultural, económico productivo, asentamientos humanos, movilidad, energía y conectividad, político institucional y participación ciudadana), los cuales son divididos en subtemas. Para cada componente se realiza un diagnóstico descriptivo y uno participativo (Etapas 1 y 2), de allí derivan los criterios de intervención (Etapa 3). Posteriormente, se desarrolla la propuesta urbanística o fase dos, la cual está formada por dos etapas: una explicativa y otra propositiva de gestión pública.

Fase 1/Etapa 1: El enfoque descriptivo como instrumento de diagnóstico de cada componente define aspectos técnicos y su parametrización, es decir, la personalización del componente respecto a la condición asentamiento informal. Se realiza una discriminación entre los subtemas de cada componente, seleccionando aquellos que son vinculantes para la configuración que presenta la estructura urbana en estudio, tal como se indica en la Tabla 1.

Fase 1/Etapa 2: El enfoque participativo incluye a la población local mediante actividades diarias (entrevistas, charlas, reuniones con directivos de cooperativas y pobladores, tertulias y otras), programadas y ejecutadas por el equipo social del MIDUVI. Se determina como perciben o son afectados los pobladores (grado de satisfacción o insatisfacción, beneficio o afección, seguridad o riesgo, confort o molestia, entre otros); validando la correcta selección de los subtemas por componente mediante criterios técnicos, y priorizando problemas y potencialidades por componentes.

Fase 1/Etapa 3: La interpretación del espacio urbano se realiza con criterios físicos, estéticos y funcionales, considerando enfoques de sostenibilidad tales como: asentamientos urbanos compactos y policéntricos (mayor complejidad de usos con un menor consumo de suelo, energía y materiales), optimización de los tejidos urbanos consolidados (transformación, recuperación y renovación), movilidad sostenible e integrada con los usos del suelo (peatonal, transporte público), vivienda digna, reducción del impacto negativo entre recursos y residuos (ciudad ecológica y saludable), configuración de la red de espacios públicos (integrados, diversos, abiertos), prevención de los riesgos naturales y tecnológicos (zonas inundables, inestabilidad...) e implantación de actividades de riesgo (incendios, sismos), conservación de la biodiversidad y del patrimonio natural (equilibrio urbano-rural-natural). (Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio del Gobierno Vasco, 2005)

**Tabla 1.**

Componentes para definir los parámetros del diagnóstico

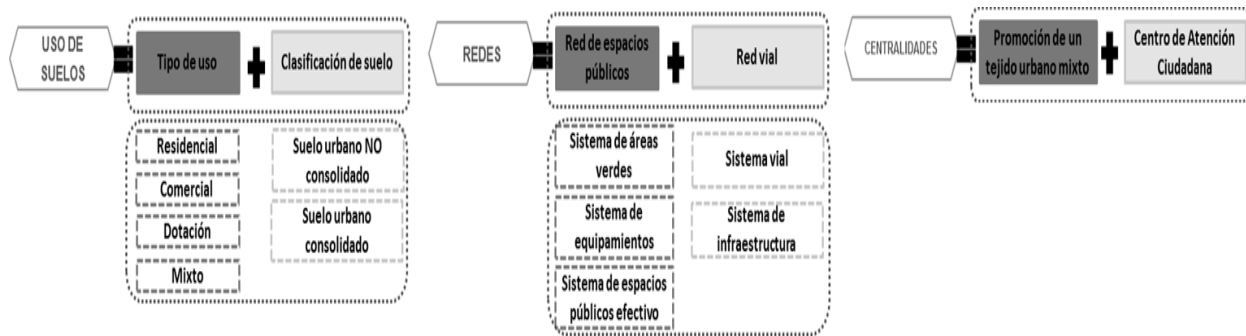
<b>Descripción del componente biofísico</b>	<b>Parámetro</b>
(1/11) Relieve (pendientes):	Cota máxima y cota mínima
(5/11) Factores climáticos:	Temperatura máxima y mínima por periodos secos nudosos la humedad relativa y la existencia de corrientes por vientos
W1_0 Canales:	existencia, distribución y dimensionamiento de canales_
(711_1) reserva ambiental (Papagayo):	Registro de la delimitación suministrado por el Ministerio del Ambiente
<b>Descripción del componente sociocultural</b>	<b>Parámetro</b>
(1/12) Análisis demográfico:	Cantidad de habitantes discriminado por género y edad
(2/12) Educación:	Existencia y accesibilidad a infraestructura educativa
(3/12) Salud:	Existencia y accesibilidad a infraestructura de salud
(4/12) Espacio público :	Existencia, accesibilidad y uso del espacio público
(8/12) Seguridad y COM-W217aa ciudadana:	Registro y procesamiento de información del ECU 911 para establecer el índice de (seguro=1 ; inseguro=0)
<b>Descripción del componente económico productivo</b>	<b>Parámetro</b>
(4/8) Presencia de proyectos nacionales de carácter <u>estratégico</u> :	existencia y condición del Canal Tránsito y existencia la subestación eléctrica_
<b>Descripción del componente</b>	<b>Parámetro</b>
(2/8) Infraestructura y acceso a servicios básicos., déficit cobertura:	Tipos de servicios: agua potable, electricidad, saneamiento derechos sólidos_ Para cada tipo se determina la existencia, accesibilidad, condición y calidad
(3/8) Acceso de la población a vivienda y catastro predial	Registro catastral y disponibilidad._
<b>Descripción del componente movilidad, energía y conectividad</b>	<b>Parámetro</b>
(1/) SOrViCiOS de telecomunicaciones:	existencia y accesibilidad del servicio
(316) Redes viales y transporte:	existencia y accesibilidad del servicio
<b>Descripción del componente política institucional y participación ciudadana</b>	<b>Parámetro</b>
0/4) Instr. de planificación y ordenamiento territorial:	Existencia Y condición (vigencia y caducidad)

Fase 2: Propuesta del PPPEIS Monte Sinaí, se estructura en dos etapas: explicativa y propositiva. Cuyo alcance es sentar las bases que posteriormente en un trabajo complementario definen las normativas urbanísticas y los mecanismos de gestión del Plan de Ordenamiento Territorial. Se desarrolla un modelo de ciudad compacta basado en la densificación del sector, promoviendo la integración sistemas públicos y/o privados, proyectando una red vial sostenible, interviniendo la trama urbana irregular existente a través de la regularización de predios, detectando las amenazas de inundaciones y movimientos de masas como elemento de proyección de la gestión integral de riesgo, controlando la propagación de asentamientos informales en áreas de protección ambiental o con valor ecológico, articulando el territorio (Polígono Especial) con la zona urbana de la ciudad de Guayaquil, y con los sistemas estructurantes existentes (equipamientos, áreas verdes, movilidad) (Gómez S., José Bueno J., Neira D., Cárdenas E., Parra C., 2015).

## Resultados

### Estrategias y actuaciones urbanísticas

El diagnóstico de la zona a intervenir plantea las siguientes estrategias de consolidación, reordenamiento y mejora de Monte Sinaí: sostenibilidad como estrategia de transformación, aglutinamiento urbano como estrategia de potenciación de espacios, reconversión como estrategia de recalificación e integrar de bordes, mezcla de usos como estrategia para generar diversidad urbana, red de espacios libres y movilidad sostenible como estrategia para la conexión urbana, redensificar como estrategia de optimización en el consumo de suelos y prestación de servicios, regeneración y reconversión como estrategia sistémica de reducción de riesgo ambientales. Dichas acciones actuarán como acupuntura urbana reparando y revitalizando el norte de la ciudad, integrando ponderadamente tres mecanismos para producir una estructura urbana más óptima mediante una función compuesta, es decir, una función de varias variables funcionales (Figura 2).

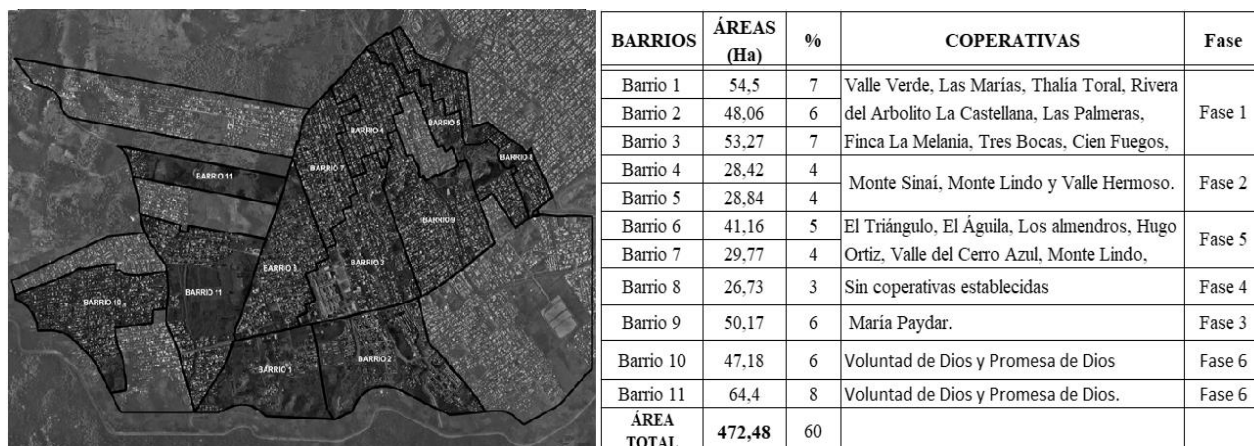


**Figura 2.**

Mecanismos de actuaciones urbanísticas y sus interacciones mediante variables funcionales.

**Fuente:** Adaptado de “Instituto Geográfico Militar”; “Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda”

Las actuaciones urbanísticas inician luego de la delimitación espacial del sector en 11 barrios, lo que confiere coherencia urbana; dichos barrios se constituyen bajo los criterios de Clarence Perry (considerado el padre de la unidad barrial), quien determina que un barrio es considerado caminable cuando para ir entre dos puntos caminando aproximadamente 2 km se requieren 15 minutos, esta relación crea un modo de funcionamiento y conexión del entorno. Según Perry, el número de viviendas existente es otro factor determinante en el proceso de conformar cada uno de los barrios, tomando como número base 1500 viviendas por barrio (Figura 3 (izq.)). El polígono de intervención está actualmente compuesto por 32 cooperativas de viviendas, agrupadas logísticamente en fases de ejecución, (Figura 3 (der.)); cada fase agrupa las cooperativas y barrios, definiendo el área y porcentaje en ejecución de área total del Polígono Especial (787,47 Ha).



**Figura 3.**

Polígono Especial: (izq.) Designación y delimitación de barrios; (der.) Información de áreas, barrios y cooperativas por fase de ejecución.

**Fuente:** Adaptado de “Instituto Geográfico Militar”; “Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda”

### Mecanismo 1: Tipo y uso de suelo

Hasta mayo de 2017, la clasificación por tipo de suelo de Monte Sinaí es de suelo rural, en junio de 2017 se recalifica como suelo urbano no consolidado. Finalmente se define para el sector de estudio Monte Sinaí el uso de 396,02 Ha equivalentes al 51%, cuya distribución de uso de suelo en términos de tipos de uso y porcentaje de área es: comercial 3,4%; equipamientos 2,8%; mixto 3,6%; residencial 33,0%; áreas verdes 7,8%, (Figura 4). Se logra la clasificación de suelo urbano consolidado lo que permite integrarlo al sector de la zona norte de la Ciudad de Guayaquil.



**Figura 4.**

Distribución y tipo de uso en el sector Monte Sinaí, (IGM, MIDUVI)

**Fuente:** “Instituto Geográfico Militar”; “Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda”

### Mecanismo 2: Redes

La propuesta plantea dos redes locales; la primera conformada por los sistemas de áreas verdes, espacios públicos efectivos y equipamientos; la segunda corresponde al sistema vial complementado por corredores verdes y las contemplaciones de servidumbre de los canales. La red vial interconecta los componentes de



ambas redes, permitiendo desarrollar (como estrategia de conectividad) los parámetros técnicos de una ciudad caminable (Figura 5).

El sistema de áreas verdes es constituido por espacios públicos de carácter recreativo o contemplativo. Los parámetros de distribución son: solares vacíos, solares afectados con riesgo mitigable para áreas verdes recreativas y riesgo no mitigable para áreas verdes contemplativas, distribución de áreas verdes uniforme dentro de los sectores para brindar cobertura a los habitantes y generando sentido de equilibrio y orientación. El radio de acción máximo de las áreas verdes se establece en 500 metros caminables desde cualquier vivienda a cualquier área verde. Los sectores bajo radios de acción superpuestos poseen diferentes opciones o rutas caminables desde sus viviendas hacia las áreas verdes; sin embargo, aproximadamente 8% no se encuentran bajo la incidencia de ninguno de estos radios de acción (Figura 5 (a)).

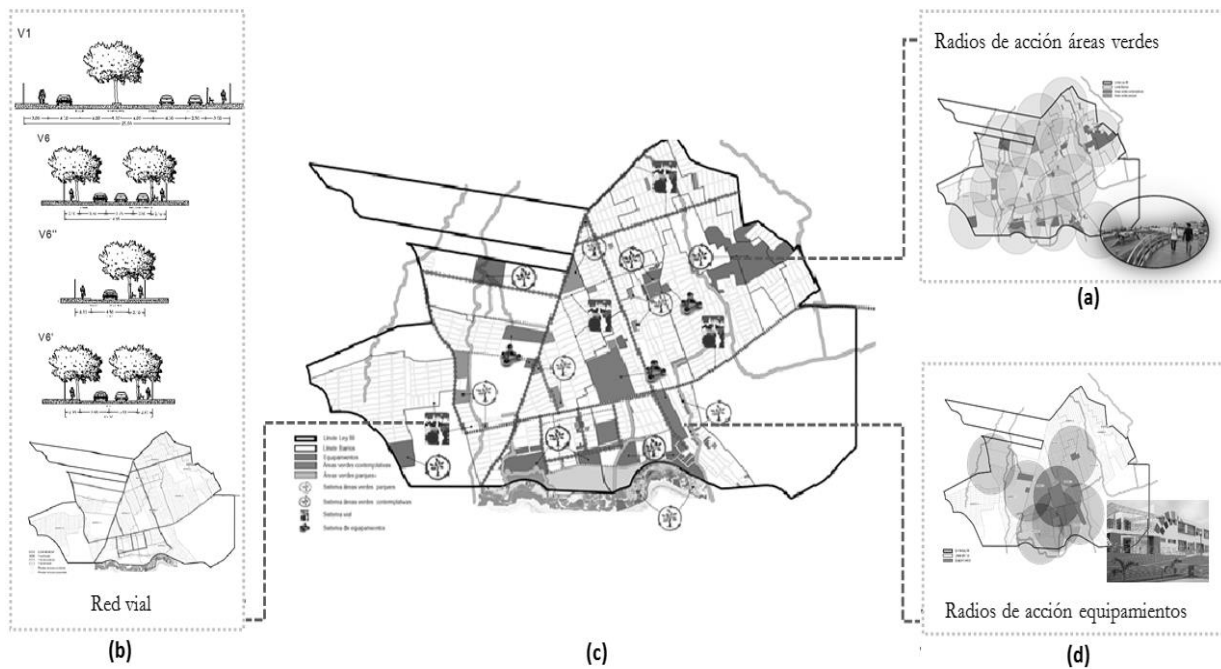
El sistema de espacio público efectivo es conformado por espacios de carácter permanente (parques, plazas, plazoleta). Se propone complementar a los espacios públicos efectivos con zonas para: juegos de niños, ejercicio, estancia pasiva, juegos de mesa para adultos mayores, otros; definiendo así la relación compartida entre el tipo de espacio público y el entorno inmediato (ejemplo: zonas de juego de niños próximas a unidades educativas), (Figura 5 (c)). El sistema de equipamiento acorde con la micro planificación (zona 8, distrito 5), es presentado en la Tabla 2, indicando la relación entre ministerios gestores con: los tipos de establecimientos, el área de terreno requerida, el área de construcción, el barrio asociado, el área del terreno en la propuesta urbana y el estado de desarrollo actual.

**Tabla 2.**  
Sistema de equipamiento  
**SENPLADES**

Entidad gestora	Tipo del establecimiento	SENPLADES		Barrio	Área del terreno propuesta urbana (m <sup>2</sup> )	Estado actual
		Área del terreno requerido (m <sup>2</sup> )	Área de construcción (m <sup>2</sup> )			
MDI	Unidad de policías comunitaria (UPC)	300	225,00	1	701,89	Futuro
	Unidad de policía comunitaria (UPC)	300	225,00	11	455,51	Futuro
	Unidad de vigilancia comunitaria (UVC)	10000	4219,00	3	12231,36	Futuro
Inmobiliar	Centro de atención ciudadana (CAC)	5000	4300,00	11	6400,00	Futuro
MSP	Hospital general	xxxxxxx	24000,00	3	102235,57	En ejecución
	Centro de salud Tipo B	4020	2222,10	9	4399,37	Existente
Deportes	Polideportivo tipo B	11300	10071,17	2	34712,67	Futuro
MINEDUC	Unidad Educativa del Milenio (UEM)	5000	9569,65	2	27112,75	En ejecución
	Unidad Educativa del Milenio (UEM)	5000	9569,65	11	32335,13	Futuro
Área total (m <sup>2</sup> )		40920	65401,57		220584,25	
Área total (Ha)		4,09	6,54		22,06	

La selección de terrenos para la implantación de equipamientos toma en consideración el valor mínimo el área requerida por la SENPLADES, la distribución equitativa dentro del Polígono y la utilización de los solares baldíos evitando la expropiación. A partir de ello se logra que 9 equipamientos cumplan los requerimientos y sean dispuestos 2,8 % del área total del Polígono. Acorde con el tipo de equipamiento se tienen: 3 de seguridad, 1 centro de atención ciudadana, 2 de salud, 1 deportivo y 2 educativos, (Figura 5 (d)).

La teoría urbanística propone el tejido mixto o diversidad urbana, por tanto, se establece la ubicación de los equipamientos, y la inserción de actividades económicas, de dotaciones y servicios en el tejido mixto; respaldando la generación de la diversidad urbana en un 45 % del área total (validado por el área cubierta por los radios de acción).



**Figura 5.**

Redes: a) Sistema de área verdes y sus radios de acción; b) Sección de vías y red vial; c) Sistema de espacio público efectivo; d) Sistema de Equipamientos y sus radios de acción,

**Fuente:** Adaptado de “Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia multi diagnóstico”; Adaptado de “Instituto Geográfico Militar”; “Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda”

En la segunda red, el sistema vial toma en consideración la ubicación de elementos estructurantes desarrollados en la propuesta (equipamientos urbanos, macrolotes y áreas verdes). La jerarquía de vías se rige por la ordenanza de ordenamiento territorial del Cantón Guayaquil (Arterial VI, Local: V6, V6', peatonal V6''). El eje de acceso principal al polígono especial de intervención, es el eje estructurante de conexión con la ciudad de Guayaquil (ancho y largo de vía: 21 m y 3.3 km; contiene: 2 equipamientos principales, 1 de salud y 1 deportivo; conecta 7 corredores verdes). Allí se desarrolla gran parte del comercio y conecta las vías secundarias y terciarias las cuales direccionan a los diferentes elementos estructurantes que existen en cada uno de los barrios. Respecto a la movilidad del sector, se incorporan el diseño circuitos para el transporte público y con ellos la ubicación de nuevas paradas de buses, las mismas que fueron dispuestas a una distancia entre cada una de 400 m, considerando el criterio de Jan Gehl (Perry Clarence, 1920). (Figura 5 (b)).

### Mecanismo 3: Centralidades

Se propone un sistema para utilizar el espacio público no sujeto a franjas horarias, creando nodos de actividad y promoción de recorridos a lo largo del Polígono Especial de Intervención. Proyectando circuitos específicos en los cuatro puntos focales de actividad, se potencian los usos comerciales o de servicio en los ejes de conexión (Figura 6):

- Centralidad 1: Centro de Atención Ciudadana.
- Centralidad 2: Equipamientos: 1 de seguridad, 1 de salud (tipo B).
- Centralidad 3: Usos de equipamientos: 1 de salud, 1 educativo y 1 recreativo.
- Centralidad 4: Usos propuesto de conexión: agrícola – residencial y parques lineales.



**Figura 6.**

Sistema de Centralidades

**Fuente:** Instituto Geográfico Militar. (2015); Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda

### Discusión

La primera fase de ejecución conformada por los Barrios 1, Barrios 2 y Barrios 3 inicia con el análisis urbano, se identificaron viviendas, comercios, equipamientos e infraestructura existente, el estudio de la dinámica social existente en el asentamiento y las cooperativas ya consolidadas.

Del 33% de ocupación del suelo en viviendas, existe un 90% en condición de vulnerabilidad socio-económica y 10% en condición de riesgo de carácter técnico. Los parámetros de pendientes y riesgos son considerados al proyectar las áreas de uso residencial y mediante el plano de movimiento de masas elaborado por el IGM, se definen zonas de riesgo alto no utilizables para vivienda; adicionalmente se determinan las edificaciones que deben ser reubicadas. Las zonas afectadas por riesgo se destinan para el uso de áreas verdes en función de la pendiente del suelo, y se clasifican en activas (parques) o pasivas (contemplativas). En los canales que atraviesan el polígono, se calcula su dimensión con una faja de servidumbre promoviendo su integración a través del diseño de corredores verdes (tipo B), usando la vegetación como barreras para contrarrestar los riesgos y conformando senderos que sirven de conectores a lo largo del polígono de intervención.

Se identificaron espacios que son destinados a la producción de alimentos, por ello siguiendo con esta temática se implementó el área de uso agrícola, reservada a la producción de huertos urbanos, el cual ocupa un

área de 108294.09 m<sup>2</sup>. Los terrenos cuya superficie supere los 400 m<sup>2</sup> son destinados para el uso de macrolotes en futuros desarrollos.

### **Conclusiones**

Los problemas del sector en forma global se identifican por la alta demanda de los pobladores, cantidad y tipo de problemas técnicos, la condición administrativa producida por la informalidad del asentamiento y las negociaciones ilegales de compra-venta de terrenos. El PPEIS, como herramienta de planificación urbana ha incluido las variables del diseño urbano mediante el acople de la compleja situación existente y los fundamentos teóricos, para garantizar un ordenamiento territorial eficiente.

Respecto al uso del suelo con fines comerciales, se promueve el uso mixto y se mantiene el existente. Apoyado en la densificación residencial pueden usarse las plantas bajas como espacios comerciales y los niveles superiores como uso residencial. Este tipo de tejido urbano con usos mixtos impulsa la calidad urbana y evita el abandono del sector en franjas horarias específicas, promoviendo la economía local e incremento del número de empleos.

El uso residencial se mantiene reduce el impacto social y cultural siempre que no presenta condiciones de riesgo. Adicionalmente, el proceso de regularización del marco legal contribuye a desarrollar sistemas de dimensionamiento, control y seguimiento que impulsan la calidad de las viviendas. Los mecanismos para las adjudicaciones de predios individualizados, como garantía de seguridad en la tenencia del suelo de los habitantes del sector, es otra consecuencia del presente Plan Parcial.

Respecto al uso de áreas verdes es relevante señalar la proximidad lograda con el indicador de la Organización de Naciones Unidas sobre áreas verdes por habitante, pasando de un registro nulo a una asignación de 8 m<sup>2</sup>/habitante. Este logro contó con la designación de 7.8 %, de la superficie de los barrios de propiedad del MIDUVI para el uso como áreas verdes.

Los criterios ambientales y las zonas de riesgo, fueron un factor principal en el diseño urbano para Monte Sinaí, por su condición vinculante en la ubicación de las zonas residenciales, equipamientos y zonas recreativas, para la reubicación de los habitantes localizados en sectores de riesgo. Se logró ajustar el uso equipamientos a lo requerido en la micro planificación de SENPLADES, adicionalmente se garantiza su accesibilidad.

La proyección del sistema vial permitirá una conectividad eficiente entre los sistemas de espacio público efectivo, equipamiento y áreas verdes.

### **Agradecimiento**

Es importante reconocer y manifestar gratitud imperecedera a todas aquellas personas e instituciones que participaron en la elaboración del Plan Parcial de Monte Sinaí, objeto del presente artículo. Agradecimiento particular los Arq. Carlos Velasco y la Arq. Luvis Parrales, que sirvieron de apoyo para el desarrollo de la investigación.

## Referencias

- Asamblea Nacional de la República del Ecuador (2016). *Ley 88 de Legalización tenencia de la tenencia de tierra a favor de los moradores y poseionarios de predios que se encuentran en la circunscripción de los cantones de Guayaquil, Samborondón y el Triunfo*. Quito, Ecuador.
- Asamblea Nacional de la República del Ecuador (2016). *Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial de Uso y Gestión del Suelo*. Quito, Ecuador.
- Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio del Gobierno Vasco, Asociación Vasca de Municipios–EUDEL (2005). *Manual para la redacción de planeamiento urbanístico con criterios de sostenibilidad*. Madrid, España.
- Gómez S., José Bueno J., Neira D., Cárdenas E., Parra C. (2015). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia multi diagnóstico*. Quito, Ecuador.
- Instituto Geográfico Militar (2015). *Atlas del Instituto Geográfico Militar*. Quito, Ecuador.
- Ilustre Municipalidad de Guayaquil (2015). *Ordenanzas municipales*. Guayaquil, Ecuador.
- Lefebvre Henry (1972). *El derecho a la ciudad*. París, Francia.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda Ecuador (s.f.). *Coordinación General y Urbanismo*.
- Perry Clarence (1920). *The Neighborhood*. Washington, Estados Unidos.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (2017). *Documento oficiales de micro planificación del SENPLADES*. Guayaquil, Ecuador.

# Elaboración e implementación de un traje de protección personal, estación de trabajo, basado en el Índice Clo, Medidas Antropométricas y Matriz de Riesgo en construcciones civiles en la empresa CONALVISA, Riobamba

**Edmundo Cabezas Heredia**

Universidad Nacional de Chimborazo  
ebcabezas@unach.edu.ec

**Fernando Molina Granja**

Universidad Nacional de Chimborazo  
fmolina@unach.edu.ec

**Karla Ortiz**

Universidad Nacional de Chimborazo  
stephany.ortiz@gmail.com

## Resumen

Los trabajadores realizan levantamiento topográfico, dibujo (Asistido por computador) CAD, se encuentran expuestos a diferentes riesgos. Al realizar levantamientos topográficos en campo se lo hace en diferentes condiciones climáticas afectan a las condiciones de salud del trabajador. El CAD utiliza programas con formas, figuras y colores produce fatiga visual, mental y malas posiciones corporales por falta de confort. La falta de ropa adecuada, estación de trabajo basada en las medidas antropométricas, índice clo y discomfort generan accidentes laborales, absentismo bajas de producción, etc. Aquí mostramos un traje adaptado a las diferentes condiciones climáticas, antropométricas, mesa y silla ergonómica que genera confort y reduce las molestias musculoesqueléticas. Los elementos diseñados, disminuye el absentismo, accidentes, aumento en producción y entrega de trabajos a tiempo y adaptación, se realizó evaluaciones ergonómicas, construcción, se aplicó comparación de medias con  $p < 0.05$  para la comprobación de hipótesis y aceptación de lo investigado.

**Palabras Claves:** Traje de protección personal, Estación de trabajo, Índice clo, Matriz de riesgos.

## Abstract

Workers perform surveying, drawing (computer assisted) CAD, are exposed to different risks. When performing topographic surveys in the field is done in different climatic conditions affect the health conditions of the worker. The CAD uses programs with shapes, figures and colors produces visual fatigue, mental and bad body positions for lack of comfort. The lack of adequate clothes, work station based on anthropometric measures, index clo and discomfort generate accidents at work, low production absenteeism, etc. Here we show a suit adapted to the different climatic conditions, anthropometric, table and ergonomic chair that generates comfort and reduces musculoskeletal discomfort. The elements designed, reduced absenteeism, accidents, increase in production and delivery of work on time and adaptation, ergonomic evaluations, construction, applied a comparison of means with  $p < 0.05$  for the verification of hypotheses and acceptance of the investigated.

**Keywords:** Personal protection suit, Workstation, Index clo, Risk matrix.

## Introducción

### Introducción al problema

Los factores de riesgo laborales presentes en el área de la construcción y otros sectores industriales en el país generan accidentes laborales: 99.750 avisos reportados (IESS 2017), enfermedades profesionales, absentismo, bajas en producción, pérdidas económicas, etc.; hacen que esta temática cobre fuerza en el área de ingeniería civil y otras.

La postura se convierte en la plataforma para estas acciones. La atención se dirige a la tarea, y los elementos posturales están destinados a apoyarla: la postura se vuelve más inmóvil, la carga muscular aumenta y se convierte en más estática. Un grupo de investigadores franceses demostró, en un estudio hoy clásico, que la inmovilidad y la carga muscular esquelética aumentan en función de la tasa de trabajo (European Agency for Safety and Health at Work, 2010).

La gente joven corre mayores riesgos; y por otra parte, la gente mayor tiene menos fuerza y menos capacidad fisiológica. Las ropas ajustadas pueden aumentar la fuerza muscular requerida para desempeñar una tarea, ya que la persona tiene que vencer la presión de la ropa. Ejemplos típicos de esta situación son el uniforme de las enfermeras o los monos ajustados para trabajar por encima del nivel de la cabeza. (Cote Gil Coury, 1999).

Al existir en las obras de construcción factores de riesgos que deben ser abordados en busca de soluciones que ayuden al trabajador de las empresas dedicadas a esta actividad, los que realizan trabajos en diferentes sectores, terrenos irregulares, no estables, taludes, con diferentes condiciones climáticas de sol, viento, lluvia hace que el trabajador por estas condiciones y la falta de conocimiento sobre seguridad industrial provoquen accidentes y enfermedades que pueden llevarle inclusive a la muerte y por ende demandas a los dueños de la compañía, por esta razón la presente investigación busca intervenir con un levantamiento de factores de riesgo ergonómico para implementar medidas en la fuente, medio y trabajador que permita la solución de este problema.

Realizando un análisis situacional de la Consultora CONALVISA, en lo concerniente a seguridad, salud ocupacional, fundamentalmente al personal que realizan los planos en CAD hace que el trabajador tenga cansancio visual por los colores y minuciosidad del programa y malas posiciones en computadoras con pantallas de visualización con referencia a la ergonomía del trabajo, se pudo identificar que en la empresa en la actualidad, existe, cansancio y fatiga, dolores musculares esqueléticos y retardo en la entrega de trabajos para la Consultora.

El equipo de protección individual estándar utilizado para la actividad de topografía no es cómodo para una jornada completa de trabajo de topografía pues al no existir una adecuada protección este puede causar somnolencia, fatiga temprana y pérdida de la destreza manual en las personas afectadas, además de la pérdida de rendimiento y eficiencia.

La ropa de trabajo no estándar configurada con materiales que no brindan confort para el personal pues las predicciones meteorológicas no son ciertamente acertadas o precisas, y no dan la posibilidad de proyectar, un posible ambiente de trabajo de acuerdo al estado del clima y de esta manera permitirnos determinar si el personal necesitará un traje para un clima cálido o frío, tomando en cuenta que las bajas temperaturas causan que el personal cometa errores al manipular los dispositivos de topografía y las altas temperaturas producen fatiga temprana.

Los equipos de protección personal y ropa de trabajo que se dota al trabajador carece de un estudio ergonómico, un análisis de confort, muchas de las veces no responden a las condiciones requeridas y que se encuentre por debajo de los límites permisibles para evitar el riesgo higiénico o de otra índole que puede estar sometido el trabajador.

La estación de trabajo conformada por una silla y mesa que se encuentran en las instalaciones de la empresa no responden a los requerimientos de adaptación al trabajo, se adquieren por su economía, facilidad de adquisición y la falta de estudios antropométricos de personas a nivel país para la construcción de elementos, equipos necesarios para disminuir los factores de riesgo y generar confort de acuerdo a los diferentes percentiles.

La investigación “Evaluación Ergonómica de Puestos de Trabajo”, realizada por Magally Escalante, tiene como objetivo general proporcionar métodos efectivos que ayuden a las industrias a minimizar y corregir los riesgos presentes en los diversos puestos de trabajo. La ergonomía tiene como finalidad adecuar la relación hombre-máquina-entorno a través de herramientas enfocadas a determinar las condiciones existentes en las actividades laborales presentes en las industrias tales como: el método LEST y RULA, las cuales son aplicaciones que contribuyen a determinar los riesgos que afecten la calidad de vida del trabajador y las incidencias en el desarrollo de los procesos industriales. Esta investigación ha requerido una revisión de análisis documental y de campo. La Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT) regula las condiciones aceptables que debe presentar los puestos de trabajo, es por ello, que al aplicar los métodos las industrias podrán adecuar el desarrollo de los procesos a las normas establecidas, generando beneficios como: aumentar la calidad de vida del trabajador, mejorar la producción, disminuir las enfermedades ocupacionales y los costos de la empresa.

Al revisar la tesis: “Elaboración e Implementación de un Prototipo de silla ergonómica y adecuaciones en la Secretaria del Vicedecanato de la Facultad de Ingeniería de la UNACH, basado en la evaluación de Riesgos, período Diciembre – Mayo 2011”, realizado por el Ing. Edmundo Cabezas se obtuvo: La necesidad de contar con un ambiente seguro y puestos de trabajo adecuados para el personal de secretaría del Vicedecanato de la Facultad de Ingeniería basado en un estudio antropométrico, permitió elaborar e implementar un prototipo de silla ergonómica que mejora las condiciones de Seguridad y Salud disminuyendo los factores de riesgo y problemas de enfermedades profesionales. El diseño de la investigación está basado en encuestas sobre pantallas de visualización, teclados, estación de trabajos y otros, así como la aplicación de una matriz para establecer los riesgos presentes en los puestos de trabajo y la priorización de cada uno de los factores de riesgo para proponer acciones preventivas que disminuirá la probabilidad de accidentes y enfermedades profesionales generando confort y bienestar en el sitio laboral. Al determinar que los niveles de ruido, iluminación, temperatura está dentro de los parámetros aceptables en la ley y al no existir estrés térmico que afecte a la salud del trabajador se refuerza medidas preventivas como la implementación de un path mouse ergonómico que disminuirá enfermedades como túnel carpiano, tendinitis entre otras. (Wilson, 2001)

Al revisar antecedentes de investigaciones anteriores: “Empleo de los Métodos Erin y Rula en la Evaluación ergonómica de Estaciones de Trabajo”, publicado por Yordán Rodríguez-Ruíz (2013), tenemos que el comportamiento creciente de las estadísticas relacionadas a desórdenes músculo-esqueléticos de origen ocupacional (DMEs) en una empresa mexicana de autopartes de aluminio, indicó la necesidad de tomar acciones encaminadas a la prevención de estas dolencias. El objetivo principal de este trabajo fue evaluar cinco estaciones de trabajo con los métodos ergonómicos Evaluación del Riesgo Individual (ERIN) y Rapid Upper



Limb Assessment (RULA) para comparar resultados y contrastarlos con el número de enfermedades registradas por estación. Se realizó la observación directa de las estaciones de trabajo, se filmaron y se recopilaron las estadísticas relacionadas con los DMEs. Finalmente se realizaron un conjunto de propuestas dirigidas a disminuir el riesgo por variable y global de ERIN. Los resultados mostraron coincidencia en los niveles de riesgo entre ERIN y RULA en cuatro de las cinco estaciones, así como se detectó relación entre el riesgo global de ERIN y el número de enfermedades, excepto en una estación. Las propuestas preliminares realizadas no implican grandes costos y redujeron el riesgo global de ERIN y en ocasiones el nivel de riesgo. Este trabajo ilustra cómo se pueden realizar acciones primarias dirigidas a la prevención de DMEs sin incurrir en grandes costos. (DAVID, 2005).

El presente estudio de “Uso y desuso de los Equipos de Protección Personal en Trabajadores de Construcción”, realizado por Walter Lizandro Arias Gallegos (2015); pretende determinar, a través de métodos descriptivos, las causas por las cuales los trabajadores de construcción no utilizan los equipos de protección personal en el trabajo. Se aplicó una encuesta semi-estructurada a 258 trabajadores de construcción. Todos varones de entre 18 a 66 años de edad. Se encontró que las causas más comunes recaen sobre la incomodidad que les genera su uso, así como la dificultad en realizar su trabajo. Estos resultados revelan la importancia de la ergonomía en el diseño de Equipos de Protección Personales (EPPs), así como la necesidad de promover hábitos de uso en los trabajadores. (León Prado, 2010)

Al ser una empresa pequeña que no cuenta con gestión preventiva en seguridad y salud ocupacional posee información básica sobre el tema sin ayuda de un profesional afin al tema, hace que la investigación aporta en generar un traje ergonómico basado en medidas antropométricas, índice clo para el personal de topografía de la misma manera el personal administrativo con una estación de trabajo adaptable a las características corporales de cada individuo. (Takala, 2010).

### **El objetivo general de la investigación**

Implementar un traje de protección personal de frío y caliente para el topógrafo y la estación de trabajo para los dibujantes de CAD que disminuyan las lesiones musculoesqueléticas y genere confort.

### **Los objetivos específicos son determinar**

- Evaluar los factores de riesgo ergonómicos presentes en la actividad laboral
- Realizar el análisis del índice clo adecuado para el diseño del traje de protección personal
- Establecer las medidas antropométricas del trabajador para el diseño de la estación de trabajo

### **La hipótesis primaria planteada**

¿Cómo el diseño e implementación de un traje de protección personal, estación de trabajo ergonómico, basado en el índice clo, medidas antropométricas y matriz, evitan riesgos de lesiones músculo esqueléticas, posturas forzadas y alteraciones funcionales en el personal de topografía y de Dibujo CAD (siglas en inglés de Diseño Asistido por Computadora) en la Compañía CONALVISA generando confort al trabajador?

Las hipótesis secundarias planteadas son:

¿Cómo el traje de protección personal en el personal de topografía de la Compañía CONALVISA, evita la hipotermia e hipertermia generando una ventilación adecuada y calor en caso de ser necesario generando confort y disminuyendo el estrés térmico?

¿Cómo la estación de trabajo para el personal de dibujo CAD en la Compañía CONALVISA, evita lesiones músculo esqueléticas disminuyendo las posiciones repetitivas y forzadas del cuerpo?

El aporte teórico permite el vínculo de las bases teóricas de la ergonomía, cómo identificar los factores de riesgo, evaluarlos, establecer los niveles de riesgo y aplicaren equipos e instrumentos para generar confort al trabajador.

El aporte práctico es el diseño, construcción e implementación de un traje de protección personal para el personal de topografía con análisis clo, así como la estación de trabajo basada en medidas antropométricas de acuerdo a los percentiles de diseño.

### Importancia del problema

Este problema requiere ser investigado en vista de la carencia de investigaciones sobre trajes de protección personal aplicados para personal de topografía que desarrolla su actividad laboral en condiciones atmosféricas y climáticas en el país durante jornadas laborales intensas y extenuantes con un gran consumo metabólico que se mide en el índice de sudoración provocando desde desmayos, pérdida del conocimiento y la muerte en el empleado que labora en este tipo de condiciones. Las estaciones de trabajo utilizadas en oficinas administrativas carecen de adaptaciones ergonómicas de acuerdo al tipo de contextura del trabajador ecuatoriano utilizando equipos e instrumentos de procedencia europea o colombiana diferente a la nuestra en sus medidas antropométricas, es necesario aportar con un diseño que pueda adaptarse a la realidad ecuatoriana.

### Metodología

Definiciones conceptuales de la investigación son:

- **Estación de trabajo:** El asiento y el escritorio deben considerarse como un conjunto concebido para dar seguridad y comodidad al cuerpo en todas las posiciones. Estas consideraciones deben ser óptimas para un alto porcentaje de usuarios potenciales (hombres, mujeres). Deben tenerse en cuenta, además, las preferencias subjetivas de los mismos.
- **Traje de protección personal:** a cualquier vestimenta destinada a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o su salud en el trabajo, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin.
- **Índice clo:** La unidad se define como el aislamiento térmico que proporciona la indumentaria normal de un varón, es decir traje con chaqueta, camisa, ropa interior normal, todo ello de algodón, calcetines y zapatos. El cero (0) es la desnudez.
- **Medidas antropométricas:** Del idioma griego hombre, humano; y medida, lo que viene a significar "la medida del hombre".
- **Matriz de riesgos:** La Matriz de Riesgos es una herramienta de gestión que permite determinar objetivamente cuáles son los riesgos relevantes para la seguridad y salud de los trabajadores que enfrenta una organización. Su llenado es simple y requiere del análisis de las tareas que desarrollan los trabajadores.

### Operatividad de variables

**Variable independiente:** índice clo, medidas antropométricas y matriz de riesgo.

**Variable dependiente:** traje de protección personal y estación de trabajo.

## **Población**

La población de la empresa CONALVISA es de 9 personas, se trabajó con toda la población.

Para identificar el problema que se desea intervenir, así como sus causas y sus efectos. El procedimiento aplicado contempla los siguientes pasos:

1. Determinar la línea base de investigación de cual es la problemática en la empresa CONALVISA de los factores de riesgo ergonómico, estableciendo causas raíz del problema.
2. Los problemas ergonómicos causan lesiones físicas en las personas dedicadas a esta actividad, los que conllevan a problemas y lesiones de columna, cuello, cabeza, deficiencias oculares, tendinitis, síndrome del túnel carpiano, entre otros, por lo que es necesario identificar y evaluar los factores de riesgos utilizando una lista de chequeo para elaborar la matriz GTC 45.
3. Establecer los niveles de riesgo, priorizarlos y controlarlos con medidas preventivas en la Fuente, medio y trabajador para disminuir o mitigar el riesgo.
4. Evaluar los factores de riesgo ergonómico por el método Rula, índice clo y WBGT, para analizar posturas inadecuadas, confort por el uso de ropa de trabajo y consumo metabólico basal. (Antes y después de la implementación).
5. Aplicar encuestas para evaluar el uso de equipo de protección personal y de ergonomía en pantallas de visualización digital por uso de software y estación de trabajo no ergonómica. (Antes y después de la implementación).
6. Tabular las encuestas del traje de protección personal y de ergonomía en pantallas de visualización digital por uso de software y estación de trabajo no ergonómica. (Antes y después de la implementación)
7. Diseñar e implementar el traje de protección personal para el personal de topografía y la estación de trabajo ergonómica para disminuir las molestias musculoesqueléticas y generar confort.
8. Comprobar las hipótesis planteadas para la aceptación o rechazo de la investigación.

## **Instrumentos y Equipos utilizados**

Caja para medidas antropométricas, Medidor de Bulbo, Software de evaluación ergonómica, fotografías y matriz de riesgos GTC 45. El método de la sección describe en detalle cómo se llevó a cabo el estudio, incluyendo las definiciones conceptuales y operacionales de las variables utilizadas en el estudio, diferentes tipos de estudios se basan en diferentes metodologías.

Sin embargo, una descripción completa de los métodos utilizados permite al lector a evaluar la idoneidad de los métodos y la fiabilidad y la validez de sus resultados, sino que también permite a los investigadores con experiencia para replicar el estudio, si su manuscrito es una actualización de un curso o anterior el estudio y el método ha sido publicado en detalle en otra parte, es posible que remitir al lector a esa fuente y simplemente dar una breve sinopsis del método de esta sección.

## **Resultados**

La matriz de factores de riesgo ergonómico GTC45, en personal de dibujo y de topografía, presenta

**Tabla 1.**  
Factores de riesgos ergonómicos en personas que dibujan en CAD

Clasificación	EFECTOS POSIBLES	CONTROLES EXISTENTES			EVALUACIÓN DEL RIESGO BAJO GTC 45							VALORACIÓN DEL RIESGO		CRITERIOS PARA ESTABLECER CONTROLES		
		Fuente	Medio	Individuo	Nivel de Deficiencia (ND)	Nivel de Exposición (NE)	Nivel de Probabilidad (NP = ND x NE)	Interpretación del Nivel de Probabilidad	Nivel de Consecuencia	Nivel de RIESGO (NR = NP x NC)	Interpretación del Nivel de Riesgo	Aceptabilidad del Riesgo	Interpretación de la Aceptabilidad del Riesgo	No. Expuestos	Peor Consecuencia	Existencia requisito legal específico asociado (Si/No)
CONDICIONES DE SEGURIDAD: LOCATIVO	Lesiones superficiales, esguinces, golpes	Ninguno	Programa de orden y limpieza no muy frecuente	Ninguno	2	1	2	Bajo	10	20	IV	Aceptable	No intervenir, salvo que un análisis más preciso lo justifique	1	Contusiones, heridas	Resol. 957 CAN, Cap. I, Art. 1, Lit. b, D.E. 2393, Título II, Cap. II, Art. 34, 23, 25. C.D. 390, Art. 51, Lit. b.
CONDICIONES DE SEGURIDAD: LOCATIVO	Golpes	Reubicación de ciertos equipos	Ninguno	Ninguno	6	3	18	Alto	10	180	II	No Aceptable o aceptable con control específico	Corregir o adoptar medidas de control	1	Lesiones superficiales	Resol. 957 CAN, Cap. I, Art. 1, Lit. b, D.E. 2393, Título II, Cap. I, Art. 74, Título IV, Cap. V, Art. 123, C.D. 390, Art. 51, Lit. b.
CONDICIONES DE SEGURIDAD: ELÉCTRICO	Espasmo muscular, fibrilación cardíaca	Cambio de tomacorrientes y cables en mal estado	Ninguno	Ninguno	2	1	2	Bajo	10	20	IV	Aceptable	No intervenir, salvo que un análisis más preciso lo justifique	1	Quemaduras, asfixia	Resol. 957 CAN, Cap. I, Art. 1, Lit. b, D.E. 2393, Título II, Cap. II, Art. 34, C.D. 390, Art. 51, Lit. b.
CONDICIONES DE SEGURIDAD: MECÁNICO	Cortadura	Inspección de herramientas	Ninguno	Ninguno	2	2	4	Bajo	10	40	III	Mejorable	Mejorar el control existente	1	Herida	Resol. 957 CAN, Cap. I, Art. 1, Lit. b, D.E. 2393, Título II, Cap. II, Art. 34, C.D. 390, Art. 51, Lit. b.
FÍSICO	Alecciones menores en los ojos, cansancio visual, cefalea.	Ninguno	Ninguno	Ninguno	2	2	4	Bajo	10	40	III	Mejorable	Mejorar el control existente	1	Pérdida paulatina de la capacidad visual	Resol. 957 CAN, Cap. I, Art. 1, Lit. b, D.E. 2393, Título II, Cap. V, Arts. 56, 57, C.D. 390, Art. 51, Lit. b.

Fuente: Autores

**Tabla 2.**  
Factores de riesgos ergonómicos en trabajadores de topografía

PELIGRO			EFECTOS POSIBLES	CONTROLES EXISTENTES			EVALUACIÓN DEL RIESGO BAJO GTC 45							VALORACIÓN DEL RIESGO		CRITERIOS PARA ESTABLECER CONTROLES		
Descripción	Factor de Peligro	Clasificación		Fuente	Medio	Individuo	Nivel de Deficiencia (ND)	Nivel de Exposición (NE)	Nivel de Probabilidad (NP = ND x NE)	Interpretación del Nivel de Probabilidad	Nivel de Consecuencia	Nivel de RIESGO (NR = NP x NC)	Interpretación del Nivel de Riesgo	Aceptabilidad del Riesgo	Interpretación de la Aceptabilidad del Riesgo	No. Expuestos	Peor Consecuencia	Existencia requisito legal específico asociado (Si/No)
Caidas de mamporras, paredes frescas, muros, materiales de construcción, escafoados, herramientas y equipos que puedan estar dentro del área de trabajo no solamente a los operadores si no también a visitantes y técnicos de la obra.	Atrapamiento en instalaciones	CONDICIONES DE SEGURIDAD: LOCATIVO	Lesiones, fracturas, supratentamiento	Ninguno	Suficiencia de áreas de trabajo frescas	Ninguno	2	1	2	Bajo	100	200	II	No Aceptable o aceptable con control específico	Corregir o adoptar medidas de control	1	Muerte por caídas de muros, paredes, etc.	D.E. 2390, Art. 23
Partes móviles de los elementos de transmisión por banda, en concretas bandas transportadoras, máquinas excavadoras, circuitos de transmisión por engranajes, rodillos, tren de rodaje de equipo pesado, entre otros que puede atrapar miembros de los trabajadores y operadores.	Atrapamiento por o entre objetos	CONDICIONES DE SEGURIDAD: MECÁNICO	Fracturas, heridas	mantenimiento mínimos	Suficiencia de áreas de trabajo	Ninguno	6	2	12	Alto	60	720	I	No aceptable	Situación crítica, corrección urgente	1	Desmembramientos, heridas, incapacidad permanente	Resol. 957 CAN, Cap. I, Art. 1, Lit. b, D.E. 2393, Título II, Cap. II, Art. 7, 17, 13, C.D. 390, Art. 51, Lit. b.
Vuelco de equipos pesados como tractores, cargadores, montacargas, grúas, volquetes entre otros.	Atrapamiento por vuelco de máquinas o carga	CONDICIONES DE SEGURIDAD: MECÁNICO	Fracturas, heridas	Ninguno	Ninguno	Ninguno	2	1	2	Bajo	60	120	III	Mejorable	Mejorar el control existente	1	Heridas, incapacidad permanente	D.E. 2390, Art. 112 Reglamento de seguridad y salud para la construcción y obra pública, Art. 97
Atropello o golpes con transporte pesado, transporte de personal, vehículos que circulan por el área de trabajo especialmente en vías con los trabajadores de la obra. Exceso de velocidad dentro de la obra.	Atropello o golpe con vehículo	CONDICIONES DE SEGURIDAD: ACCIDENTES DE TRÁNSITO	Lesiones superficiales, esguinces, golpes, traumas.	Verificación de licencia profesional de conductores de maquinaria pesada	Control de velocidad poco frecuentes Delimitación de áreas peatonales y de trabajo	Ninguno	2	2	4	Bajo	10	40	III	Mejorable	Mejorar el control existente	1	Traumas, heridas, fracturas, incapacidad permanente, muerte	D.E. 2390, Art. 112 Reglamento de seguridad y salud para la construcción y obra pública, Art. 97
Colocar materiales en pisos peatonales o de flujo de personal. Máquinas, herramientas u objetos colocados de forma inadecuada. Suelos inestables y con exposición de elementos que pueden provocar tropezones y caídas en el mismo nivel.	Caidas de personas al mismo nivel	CONDICIONES DE SEGURIDAD: LOCATIVO	Lesiones superficiales, esguinces, golpes	Ninguno	Sólo ciertas áreas se encuentran en orden	Ninguno	6	3	18	Alto	10	180	II	No Aceptable o aceptable con control específico	Corregir o adoptar medidas de control	1	Contusiones, heridas	Resol. 957 CAN, Cap. I, Art. 1, Lit. b, D.E. 2393, Título II, Cap. II, Art. 3, 23, 25. C.D. 390, Art. 51, Lit. b.

Fuente: Autores



**Figura 1.**

Antes de la propuesta evaluación ergonómica

**Fuente:** Autores

**Tabla 3.**

Fanger antes de la aplicación de la propuesta

Denominación	Valor
PMV (promedio medio Votado)	3
PPD ( Porcentaje promedio de insatisfechos)	100%

**Fuente:** Autores

**Tabla 4.**

Análisis clo antes de la propuesta

CONALVISA	Puestos de trabajo (area de topografía)		
	P1	P2	P3
Factores de riesgo			
Aislamiento de ropa (1 clo = 0.155 m <sup>2</sup> k/W)	0.90	0.88	0.90
Tasa metabólica (1 met = 58.15 W/m <sup>2</sup> )	1.90	1.90	1.90
Temperatura [20 : 24 ] ° C (en invierno)	12.00	12.00	12.00
Temperatura radiante media	15.00	15.00	15.00
Velocidad relativa del aire <0.15 m/s	0.10	0.10	0.10
Humedad relativa [45 : 65 ] %	40.00	40.00	40.00
Índice de Valoración Medio [-0.5, +0.5]	-0.53	-0.56	-0.53
Porcentaje estimado de insatisfechos (PPD) < 10%	10.88	11.57	10.88
Situación Actual	Insatisfecha	Insatisfecha	Insatisfecha

**Fuente:** Autores

**Tabla 5.**

Fanger después de la aplicación de la propuesta

Denominación	Valor
PMV (promedio medio Votado)	3
PPD ( Porcentaje promedio de insatisfechos)	0%

Fuente: Autores



**Figura 2.**

Después de la propuesta evaluación ergonómica

Fuente: Autores

**Tabla 6.**

Medidas antropométricas para el diseño del traje de protección y estación de trabajo

Población									
9									
P5 Y P95		Z=	1,645						
P10 Y P90		Z=	1,28						
No.	Variable	Descripción	Acumulado	Promedio	Desv. Estd.	Percentiles			
						P5	P50	P95	P90
1	A	Estatura	468	156	2,51	151,8	156,0	160,1	159,2
2	B	Alc. Lat. Del Brazo.	235,98	78,66	1,96	75,43	78,66	81,88	81,16
3	C	Alc. Vertical de Asimiento	195,5	195,5	2,03	192,1	195,5	198,8	198,0
4	D	Anc. Max. Del cuerpo	135	45	1,63	42,31	45,00	47,68	47,08
5	E	Alt. Codo	312	104	5,03	95,72	104,0	112,2	110,4
6	F	Alt. De ojo	146,55	146,5	3,77	140,2	146,5	152,7	151,3
7	G	Alt. Vertical en pose sedente	362,1	120,7	5,37	111,8	120,7	129,5	127,5
8	H	Alt. De ojos en pose sedente	211,98	70,66	4,64	63,02	70,66	78,29	76,59
9	I	Alt. De rodillas	144	48	1,15	46,10	48,00	49,89	49,47
10	J	Alt. Del muslo	36	12	1,00	10,36	12,00	13,65	13,28
11	K	Alt. Poplítea	134,75	44,83	1,12	42,98	44,83	46,67	46,26
12	L	Distancia nalga-poplítea	100,8	33,66	1,48	31,22	33,66	36,09	35,55
13	M	Distancia nalga-rodilla	132,99	44,33	1,75	41,45	44,33	47,20	46,54
14	N	Anch. De hombros	105,99	35,33	2,20	31,71	35,33	38,94	38,14
15	O	Alt. En pose sedente erguida	247,5	82,16	2,90	77,38	82,16	86,93	85,87
16	P	Alt. De codo en reposo	81	27	3,65	20,99	27,00	33,00	31,67
17	Q	Anch. De caderas	110,7	36,83	1,06	35,08	36,83	38,57	38,18
18	R	Anch. De codos.	117	39	3,65	32,99	39,00	45,00	43,67
19	S	Edad	88,5	29,5	4,60	21,93	29,50	37,06	35,38

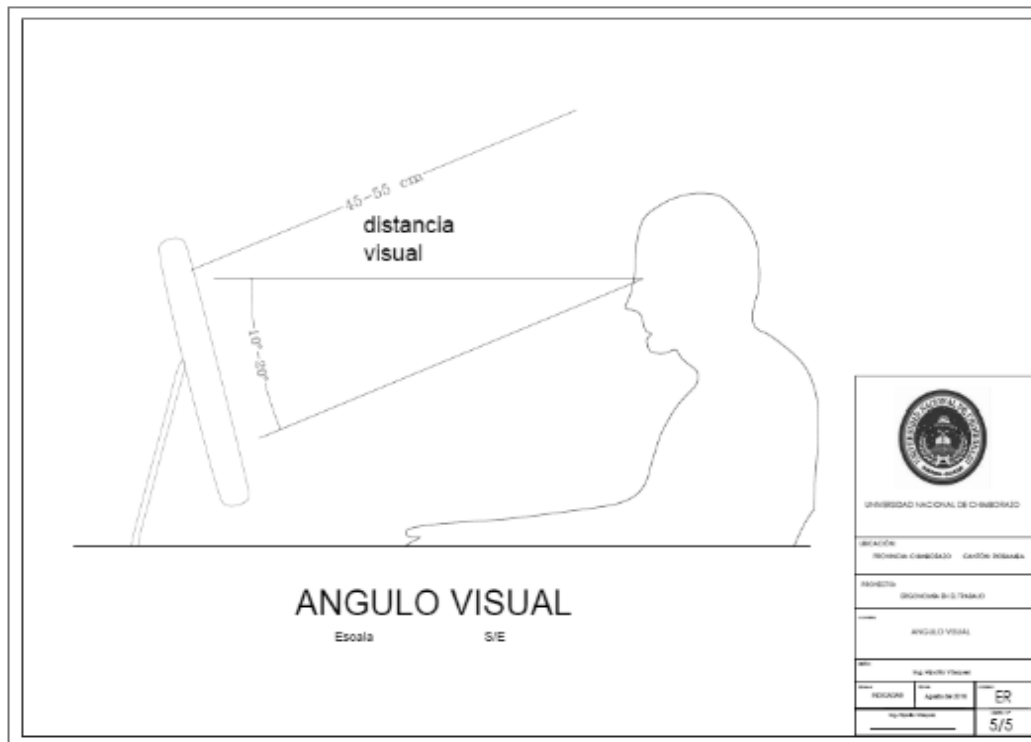
Fuente: Autores

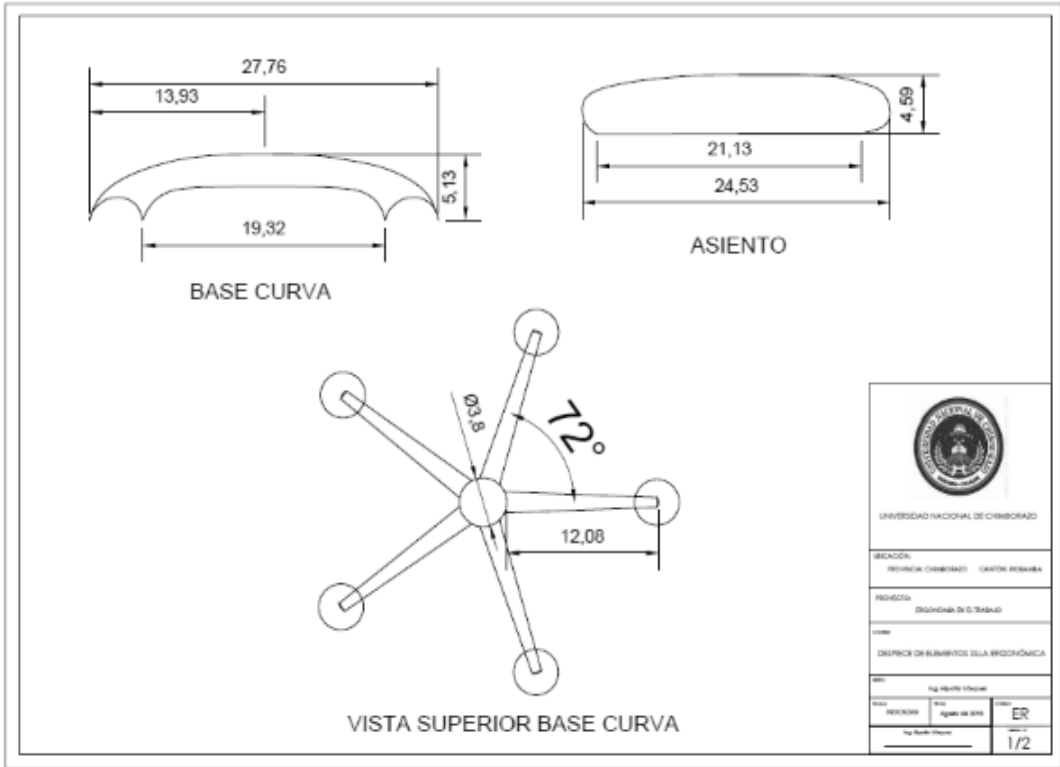
**Tabla 7**

Descripción del traje de protección personal

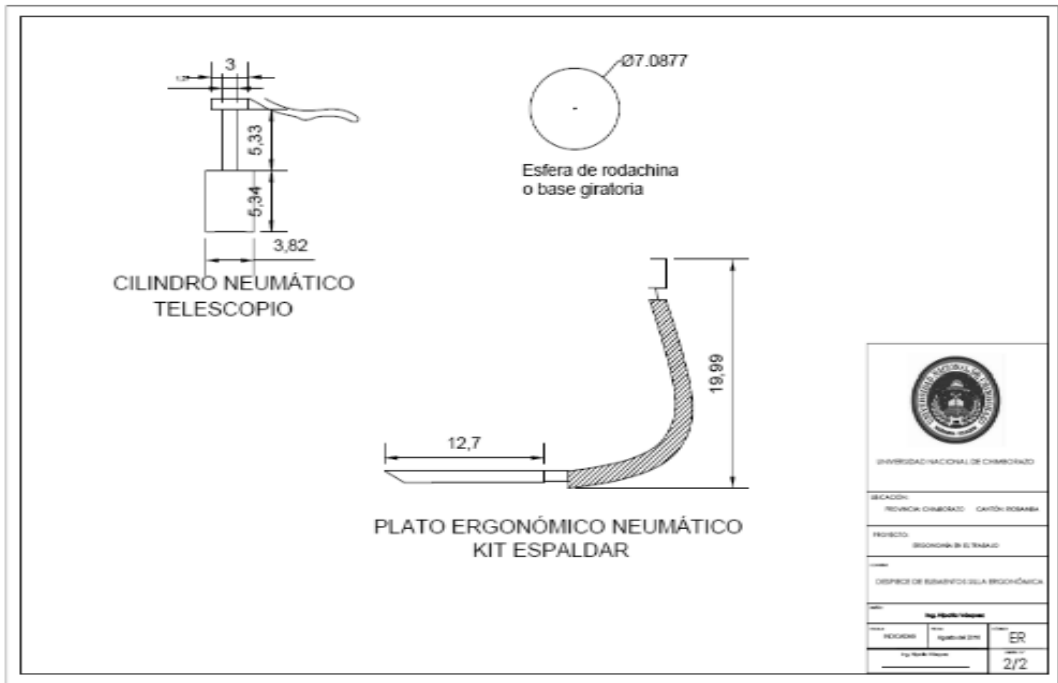
Descripción	Tela	Tipo	Grosor	Clima	Observaciones
<b>Chaqueta</b>	Poliester Impermeable	Pvc	Delgado	Lluvia	Diseño: tipo pijama; costuras: cosido y sellado; espesor: 18 micrones; peso promedio: 1 kilo; color: naranja y negro; capucha fija guardada en el cuello; doble cierre en solapa con velcro anti penetración; doble puño con elástico; ventilación en axilas, espalda y pecho; dos bolsillos amplios con pasamanos; refuerzo entre las piernas; botamangas ajustable con velcro.
<b>Pantalón</b>	Impermeable Poliester	Pvc	Delgado	Lluvia	
<b>Buso</b>	Algodón	Polar	Grueso	Frio	
<b>Camisa Manga Larga</b>	Hilo	Polo	Delgado	Calor	

Fuente: Autores

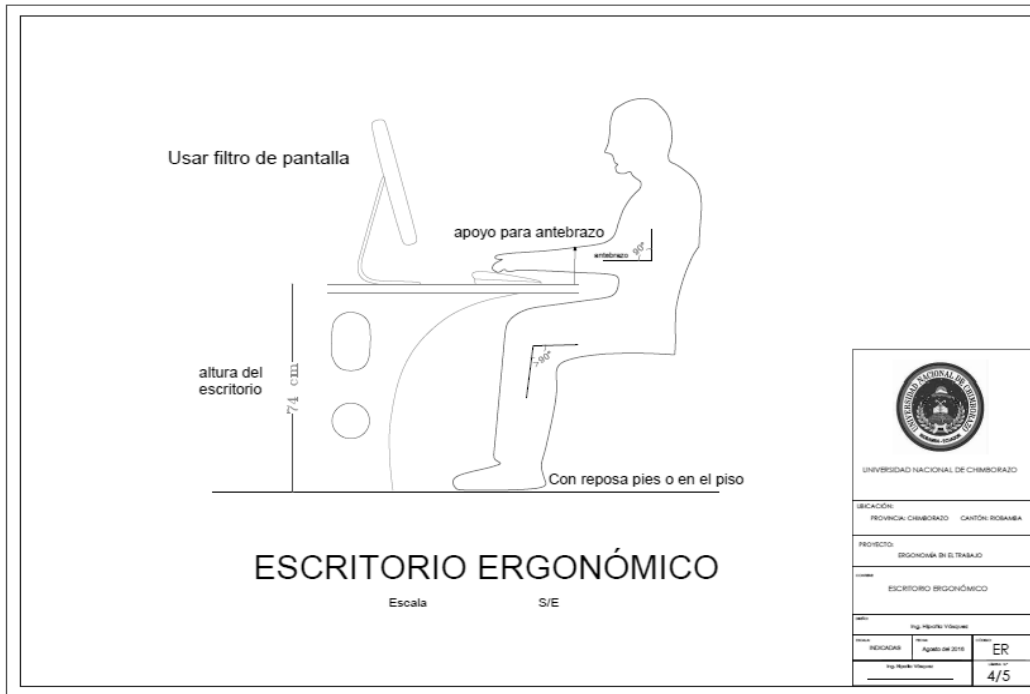




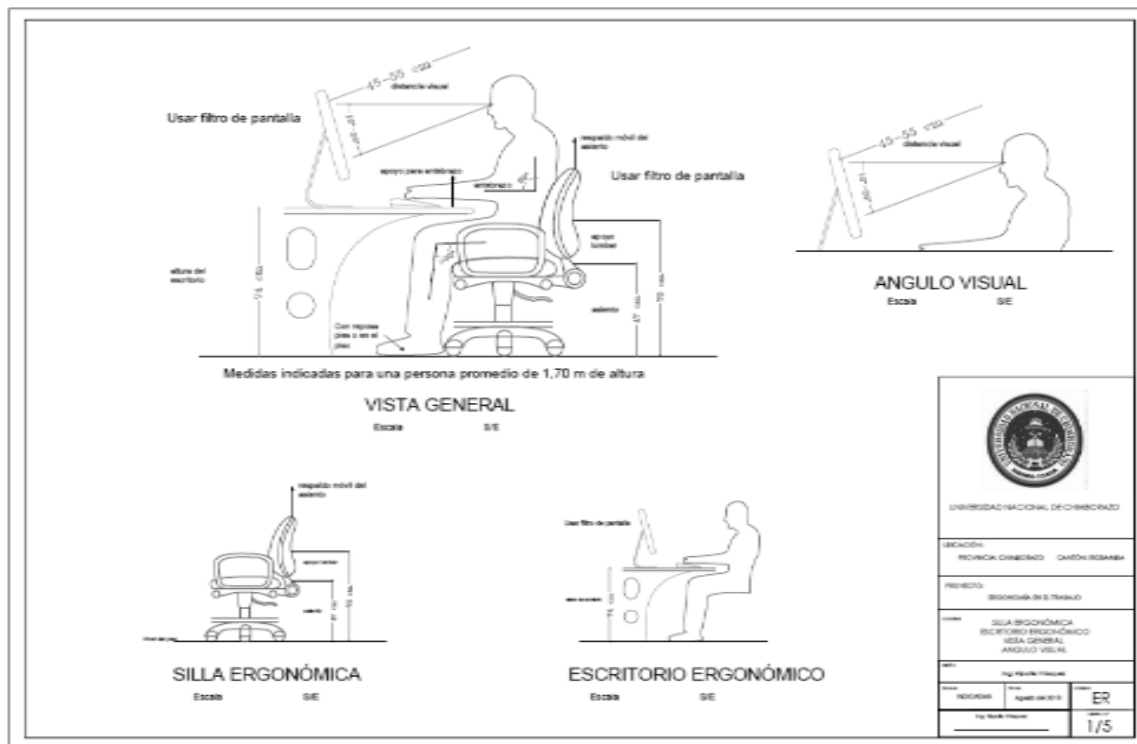
**Figura 3.**  
 Angulo Visual y vista superior de la silla  
**Fuente:** Autores

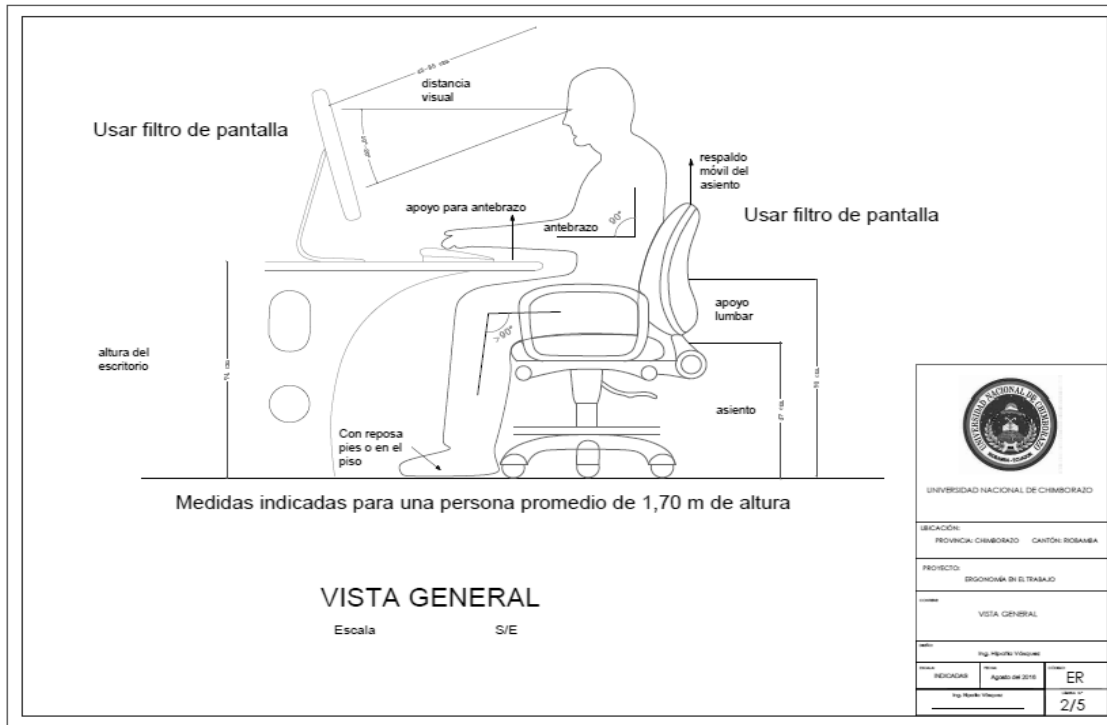






**Figura 4.**  
Componentes de la estación de trabajo y escritorio ergonómico  
**Fuente:** Autores





**Figura 5.**  
Escritorio ergonómico y sus vistas  
**Fuente:** Autores

### Discusión

En la Tabla 1, se presenta la matriz GTC 45 con los factores de riesgo ergonómicos encontrados en el personal de CONALVISA dibujante de CAD en niveles de riesgo alto, medio y bajo, con las correspondientes medidas preventivas para solucionar el problema.

En la tabla 2, se presenta los factores de riesgo ergonómicos en los trabajadores de topografía definidos en niveles bajo, medio y alto para la aplicación de medidas preventivas en la fuente, medio y trabajador.

En la fotografía 1 se realiza una evaluación ergonómica en el que se establece los ángulos para determinar las posiciones forzadas del trabajo sin el equipo adecuado y el análisis clo correspondiente para la dotación de ropa de trabajo.

En la tabla 3, se realiza un análisis Fanger para establecer la población del personal insatisfechos y sin confort el mismo que es de 100 % antes de la propuesta implementada.

La tabla 4, presenta el análisis clo de la propuesta con el 1005 de personal insatisfecho por la dotación de ropa de trabajo corroborando con el análisis Fanger siendo valdera la investigación planteada.

La tabla 5 se realiza el análisis Fanger encontrándose el 0 % de personas insatisfechas y con confort por el uso del traje de protección personal adaptable a las diferentes condiciones climáticas en las que se realiza los trabajos de topografía, mejorando las condiciones iniciales a las que el trabajador se encuentra laborando.

La figura 2 presenta el traje de protección personal implementado para mejorar el ambiente laboral del trabajador basado en las medidas antropométricas del personal.

La tabla 6 presenta las medidas antropométricas basadas en los percentiles de diseño, desviación estándar para la elaboración del traje térmico adaptable para el personal de topografía y la estación de trabajo para el personal de dibujo en CAD.

En la tabla 7 se presenta la descripción del traje con los diferentes tipos de materiales y condiciones climáticas para las que fue diseñado.

La tabla 8 presenta el diseño de la estación de trabajo para los trabajadores de CAD de la empresa CONALVISA.

La comprobación de hipótesis realizada con chi cuadrado calculado  $\chi_{c^2} = 5 > \chi_{t^2} = 3.841$  (tabla), se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_1$ , la misma que acepta el diseño del traje de protección personal adaptada a las diferentes condiciones climáticas y a la antropometría de los trabajadores de la empresa.

La prueba chi cuadra calculada  $\chi_{c^2} = 6 > \chi_{t^2} = 3.841$  (tabla), se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_1$ , la misma que el diseño e implementación de la estación de trabajo disminuyendo las molestias músculo esqueléticas y generando confort al trabajador de CAD.

### **Conclusiones**

La evaluación ergonómica en los trabajadores del personal de Dibujo CAD (siglas en ingles de Diseño Asistido por Computadora) de la Compañía CONALVISA, permitió determinar las posiciones forzadas, giros inadecuados y mejorar los alcances con la estación de trabajo implementada de los trabajadores que generaba dolencias músculo- esqueléticas, ausentismo, pérdidas en la entrega de trabajos, cansancio visual y DORT (Dolencias ocupacionales relacionadas con el trabajo); mediante la aplicación de Rula para establecer las causas raíz del problema mediante uso de software, fotografías y solucionarla mediante la estación ergonómica de trabajo.

Al contar con una estación de trabajo diseñado con las medidas antropométricas de los trabajadores de la compañía permite fácilmente la adaptación del trabajador a su actividad diaria, manteniendo un orden de su puesto, mejorar alcances, regular su silla y otros aspectos importantes considerados en el diseño propuesto.

La evaluación mediante el Método de Fanger permite establece el confort del trabajador en su actividad laboral y mediante el análisis WBGT determinar el estrés térmico, así como el análisis clo para la entrega del equipo de protección personal para el Personal de Topografía de la Compañía CONALVISA de la ciudad de Riobamba

Las condiciones de temperatura, humedad, velocidad del viento, permite complementar la evaluación de las condiciones de trabajo a las que el personal de Topografía de la Compañía CONALVISA de la ciudad de Riobamba se desempeña para que el equipo de protección seleccionado sea el adecuado, se adapte a las condiciones climáticas y genere el confort necesario.

Al realizar la dotación y uso de EPP se pudo evidenciar que el personal aumento el ritmo de trabajo y entrega de las actividades diarias encomendadas por medio de las ordenes de trabajo respectivas, dando cumplimiento a la política establecida en el reglamento interno de seguridad y salud propuesto por la compañía.

### Referencias

Cote Gil Coury, H. J. (1999). The effects of production changes on the musculoskeletal disorders in Brazil and South America. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 25, pp. 103-104.

David, G. (2005). Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. *Medicina Ocupacional*, 55(3), pp. 190-199.

European Agency for Safety and Health at Work (2010). *OSH in figures: Work-related musculoskeletal disorders in the EU - Facts and figures*. Luxembourg: Publications Office of the European Unión.

León Prado, L. R. (2010). *Factores ergónomicos en las lumbalgias ocupacionales. Un estudio de casos y controles*.

Takala, E.P.(2010). Systematic evaluation of observational methods assessing biomechanical exposures at work. *Scand J Work Environ Health*, 10(1), pp. 3-24.

Wilson, J. (2001). A framework and a context for ergonomics methodology. Evaluation of human work. *A practical ergonomics methodology*, pp.1-39.

# CAPÍTULO 5

## TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN



# Desarrollo de una aplicación móvil interactiva con realidad aumentada, para la enseñanza del lenguaje de señas ecuatoriano en niños de 7 a 12 años de edad

**Germán Patricio Torres Guananga**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
g\_torres@espoch.edu.ec

**Paulina Fernanda Bolaños Logroño**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
paulina.bolanos@espoch.edu.ec

**Cristian Javier Arellano Fonseca**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
cris\_javierfonseca@hotmail.com

## Resumen

La educación de los niños con discapacidad auditiva implica un esfuerzo de dificultad considerable, la estructura escolar experimenta una presión cada vez mayor tendiente a mejorar los niveles de enseñanza, ampliar los programas de estudios, incorporar tecnologías, considerar la igualdad de oportunidades y, en conjunto, preparar a estos niños para un mundo en rápida evolución, lo que ha generado el problema científico de ¿cómo mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje de la lengua de seña ecuatoriana, en los niños de 7 a 12 años de edad?, que desencadenó el desarrollo de una aplicación móvil con realidad aumentada para la enseñanza del lenguaje de señas en niños con discapacidad auditiva de la Unidad Educativa 21 de Abril en la ciudad de Riobamba. El estudio aplicado responde a una investigación exploratoria, con elementos descriptivos y explicativos, con grupos de control. Los resultados obtenidos demostraron que el uso de esta aplicación mejora el proceso aprendizaje y desarrolla el pensamiento espacial. Concluyendo que el uso de las tecnologías de la información y comunicación ayudan en el proceso de aprendizaje e inclusión de las personas con discapacidades auditivas y que la falta de conocimiento sobre el lenguaje de señas en las personas que rodean a los niños con discapacidad auditiva afecta directamente en el desarrollo cognitivo y social de los mismos.

**Palabras claves:** Aprendizaje, Auditiva, Dactilológico, Discapacidad, Realidad aumentada.

## Abstract

The education of children with hearing impairment implies a considerable effort of difficulty, the school structure experiences increasing pressure to improve levels of education, broaden curricula, incorporate technologies, Consider equality of opportunity and, together, prepare these children for a rapidly evolving world, which has generated the scientific problem of how to improve the learning process of the Ecuadorian sign language, in children 7 to 12 years of age , which triggered the development of a mobile application with augmented reality for the teaching of sign language in children with hearing impairment of the educational unit April 21 in the city of Riobamba. The applied study responds to exploratory research, with descriptive and explanatory elements, with control groups. The results showed that the use of this application improves the learning process and develops spatial thinking. Concluding that the use of information and communication technologies help in the process of learning and inclusion of people with hearing disabilities and that lack of knowledge about sign language in people who surround children with Hearing impairment directly affect the cognitive and social development of the same.

**Keywords:** Learning, Auditory, Digital, Disability, Augmented reality.

## Introducción

En Ecuador según datos del CONADIS (Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades), en la actualidad se han registrado 54276 personas con discapacidad auditiva, de los cuales 29051 son niños/as entre 4 y 12 años de edad. En este contexto, el lenguaje es un elemento fundamental dentro de la sociedad, con mayor énfasis al hablar de las personas con discapacidad auditiva, el lenguaje de señas se constituye un pilar necesario para la interacción diaria y para el acceso a la información. Sin embargo, es tan limitado el conocimiento de este sistema de comunicación, que las personas con discapacidad auditiva deben sortear diversas dificultades, que se extienden desde la limitación para realizar trámites, dificultades en el proceso enseñanza-aprendizaje, hasta circular en la calle sin que las personas conozcan su lengua (El Comercio, 2014).

Enfocados principalmente en niños de 7 a 12 años, en edad escolar, “los impedimentos que afectan a la capacidad de comunicarse y de relacionarse con los demás de la manera habitual en las escuelas corrientes pueden representar obstáculos prácticos y sociales de gran envergadura para participar en el sistema educativo” (UNESCO, 2011). Según (Hegarty, 1994) “quienes sufren discapacidades son aquellos que tienen la mayor necesidad de educación, son irónicamente quienes menos posibilidad de recibirla tienen. Esto es válido tanto para los países desarrollados como para los en desarrollo. En los países desarrollados muchos niños con discapacidades son excluidos formalmente del sistema educativo o bien reciben dentro de éste un tratamiento menos favorable que los otros alumnos, en tanto que en muchos países en desarrollo la lucha por impulsar la educación obligatoria para la mayoría de los niños precede a la de satisfacer las necesidades educativas especiales de quienes enfrentan discapacidades”.

En el desafío de brindar una educación de calidad e inclusiva, en el Ecuador a través de la implementación de un proyecto nacional se ha logrado incluir a la gran mayoría de niños en las instituciones educativas de todo el país, para que reciban una educación igualitaria y sean tratados sin discriminación.

Sin embargo, los métodos y técnicas para lograr un aprendizaje de calidad en las personas con discapacidad auditiva, requieren de la inserción tecnológica que permita e incentive el aprendizaje autónomo del estudiante en el contexto de la lengua de señas. Aspecto que ha motivado el desarrollo de una aplicación móvil con realidad aumentada, que permita mejorar el aprendizaje del lenguaje de señas ecuatoriano, y al mismo tiempo reforzar la enseñanza de: operaciones matemáticas básicas, lectura y escritura y lo más importante su relación con el entorno natural y social.

Entorno a este contexto, el lenguaje de señas ecuatoriano al igual que el de otros países tiene sus particularidades, como manifiesta se manifiesta en el manual de práctico para interpretes en lengua de señas ecuatoriana, “La lengua y la cultura están relacionadas entre sí y es primordial para una persona sorda contar con una cultura que esté arraigada al lenguaje porque esto le ayudará en su crecimiento social, lingüístico, intelectual y emocional, pero sobretodo, para interiorizar la lengua de señas como un canal de comunicación. Cada grupo lingüístico y cultural tiene su propia manera de ver y expresar como interpreta e interactúa en el mundo” (CONADIS, 2015).

Los sistemas de Realidad Aumentada (AR).- Como una herramienta de tecnología emergente, han experimentado un crecimiento de casi 4 décadas, adquiriendo protagonismo gracias al crecimiento vertiginoso de los marcos tecnológicos, esto ha permitido que el desarrollo de aplicaciones de AR puedan ser usados en diversas áreas, como la educativa, recreativa, marketing y ventas, arquitectura y la industria en general. Según (Azuma, 1997 pp.. 355-385), actualmente existe una tendencia especial en lo referente a la disponibilidad de

dispositivos móviles entre los que se destacan como principales tabletas y smartphones; donde cada vez más, aplicaciones han sido desarrolladas con la intención de mejorar la interacción de ambientes reales con objetos virtuales.

La realidad aumentada en el ámbito educativo. - (Buitrago, 2013) menciona que “es indudable que en la práctica educativa es significativa para el estudiante; necesariamente se potenciarán elementos intrínsecos como, la motivación y la retención de lo aprendido; por tanto, esto conducirá a la necesidad de explorar el desarrollo de nuevas aplicaciones de la RA en el sector productivo en donde el aprendiz labora, posibilitando la optimización de procesos. El conjunto de proyectos encaminados en las diferentes áreas permite ver que el espacio para desarrollar es muy variado, y de gran potencial; de forma especial en ciertos marcos donde existe resistencia en el aprendizaje”.

### **Importancia del problema**

“La realidad aumentada tiene fuerte potencial para proporcionar poderosas experiencias contextuales de aprendizaje in situ como exploraciones y descubrimientos de la naturaleza conectada de la información en el mundo real” (Lozada & Bonifaz, 2016). Consientes de la necesidad de mejorar el proceso de aprendizaje de niños con discapacidad auditiva, con enfoque en el lenguaje de señas ecuatoriano, es importante desarrollar herramientas tecnológicas que incluyan técnicas modernas para el desarrollo de habilidades y destrezas en el proceso de enseñanza – aprendizaje, como es la realidad aumentada.

Lo que permitirá un mejor desenvolvimiento en el aula de clases y su inclusión en el ámbito social sin ninguna restricción y por ende la calidad de vida se eleva tanto de los niños como de las personas que comparten su cotidiano vivir. Ya que según (Hegarty, 1994) “los principios básicos que sustentan a la educación especial son muy simples, llevarlos a la práctica puede estar lejos de ser fácil, pero hay un amplio acuerdo respecto a lo que deberían ser. Estos principios pueden formularse de diversas maneras, pudiendo establecerse en términos de tres derechos: el derecho a la educación; el derecho a la igualdad de oportunidades y el derecho a participar en sociedad.”

### **Metodología**

Teniendo en cuenta las características del estudio, se realizó una investigación de tipo exploratoria, con elementos descriptivos y explicativos, así también el diseño de la investigación será longitudinal de evolución de grupo, ya que se monitorean cambios en una población a través del tiempo, en primera instancia se observa el grado de participación en clase de los 10 niños con discapacidad auditiva del quinto año de educación básica en la asignatura de lengua y comunicación de la Unidad Educativa 21 de Abril, en la ciudad de Riobamba, que conforman la población de estudio, luego se estructuran los grupos de trabajo: grupo experimental y grupo de control formados por el 50% de la población cada uno, para luego observar si hubo o no alguna diferencia entre los grupos en lo que respecta al uso de la aplicación móvil y su incidencia en el aprendizaje del lenguaje de señas, , donde la información fue tomada a través de la técnica de observación, por los investigadores y docente a cargo del aula de clases.

En cuanto a la creación de la aplicación móvil se utilizó la Plataforma Unity Technologies, una startup que opera una plataforma de desarrollo para experiencias de realidad virtual y realidad aumentada en 2D y 3D, cuya programación se la realizó con Javascript y C#, logrando un entorno de aprendizaje visual, en donde la aplicación captura los patrones de imágenes a través de la cámara del dispositivo móvil con el fin de virtualizar



las respectivas palabras de cada representación del alfabeto dactilológico, logrando así un entorno donde la persona con discapacidad auditiva pueda aprender por medio de la interacción con las imágenes.

### **Población**

La población en estudio está constituida por 10 niños con discapacidad auditiva de la Unidad Educativa 21 de abril de la ciudad de Riobamba.

### **Muestra**

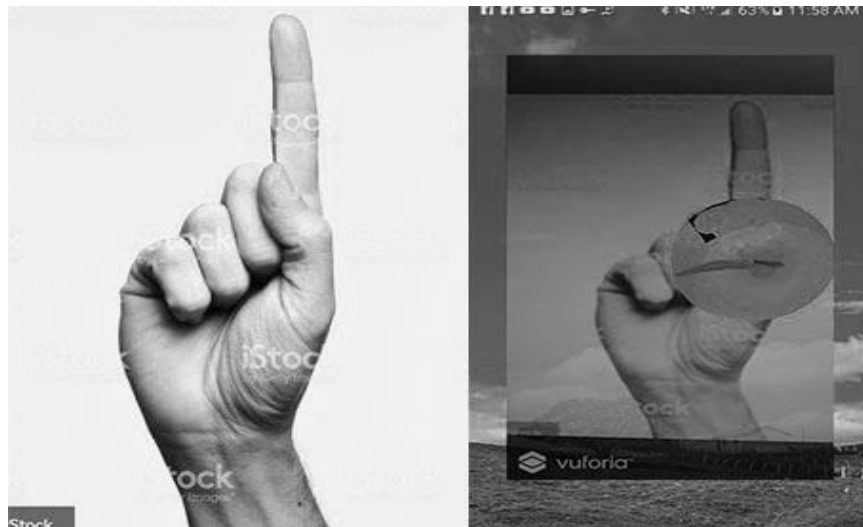
Al ser pequeña la población, esta se considera como la muestra.

### **Resultados**

Al utilizar la aplicación móvil los niños con discapacidad auditiva de la unidad educativa 21 de abril, se puede observar que el grupo experimental conformado por el 50% de la población mejoró su aprendizaje en un 25% en relación al tiempo utilizado con las técnicas tradicionales. En cambio, el grupo de control nos ayudó a comprobar la incidencia que tiene la utilización de la aplicación móvil y su aporte en el aprendizaje del lenguaje de señas.

A través de la aplicación móvil con realidad aumentada los niños con discapacidad auditiva, mostraron significantes mejoras el aprendizaje por descubrimiento y relacionaron brevemente lo aprendido con el contexto que los rodea, sintiéndose socialmente más involucrados.

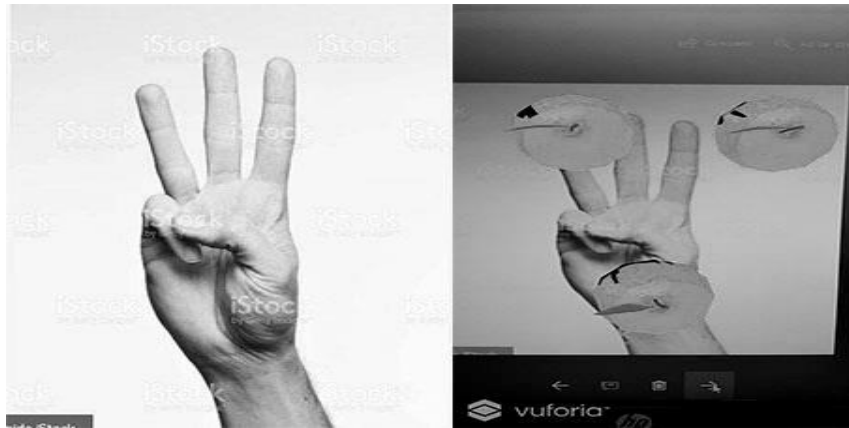
Como se observa en las siguientes imágenes de la aplicación móvil con realidad aumentada, los niños con discapacidad auditiva a través del aprendizaje por descubrimiento aprender a distinguir y comunicar que tipo de figuras han observado.



**Figura 1.**

Identificación de la seña del número uno y su visualización con realidad aumentada.

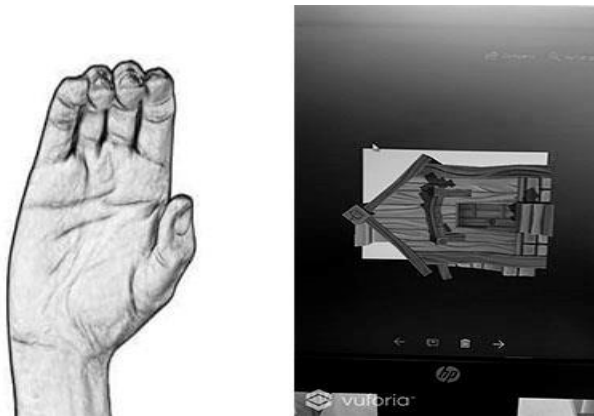
**Fuente:** Autores



**Figura 2.**

Identificación de la seña del número tres y su visualización con realidad aumentada.

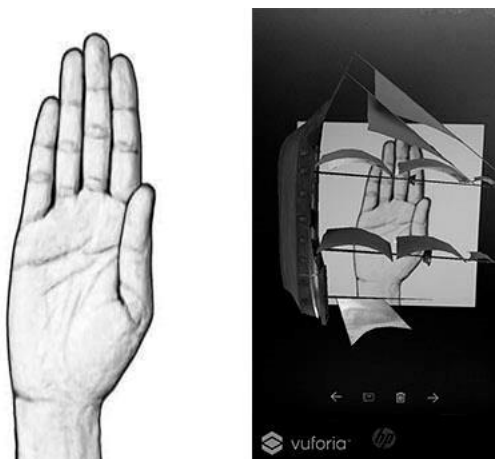
**Fuente:** Autores



**Figura 3.**

Identificación de la seña de la letra C y su visualización con realidad aumentada.

**Fuente:** Autores



**Figura 4.**

Identificación de la seña de la letra B y su visualización con realidad aumentada

**Fuente:** Autores

En otro instante, luego de varios minutos de utilizar la aplicación móvil, se pudo evidenciar que el pensamiento espacial de los niños en el grupo experimental se activa a través de juegos y relatos de historias, donde ellos se imaginan figuras u objetos en otra dimensión.

### **Discusión**

Para poder comprobar el impacto que tiene el uso de la aplicación móvil con realidad aumentada, en el aprendizaje del lenguaje de señas, el grupo experimental luego de 30 minutos aproximadamente de uso de la aplicación fue llevado a recibir clases con el grupo de control que había interactuado con ningún dispositivo móvil, se pudo observar que el grupo experimental ingreso a clases con el estado de ánimo muy alto, donde se podría elucubrar que fue simplemente el uso de un dispositivo móvil, pero en el trayecto de la clase se podía verificar que la gran mayoría utilizó el lenguaje de señas para indicar o señalar un objeto dentro del aula. Luego de varios días de experimentación se pudo determinar que en un corto plazo mejoraron aproximadamente un 25 % el aprendizaje de la asignatura de lengua y comunicación, ya que con las técnicas tradicionales y tomando en consideración que el docente debe comunicarse en doble vía es decir tanto para los estudiantes con discapacidades auditivas como para los que no la tienen. Por lo tanto, se debe considerar la educación en el lenguaje de señas para todos los involucrados en el aula, con el objeto de facilitar la labor del docente, así como también disminuir el número de estudiantes por curso.

En referencia a los principios que sustentan la educación especial, el aprendizaje del lenguaje de señas a través de la aplicación móvil y la realidad aumentada, incrementan el grado de inclusión a grupos sociales, así como también descubren y aprenden más cosas de su entorno social y natural, y lo proyectan con su imaginación a un mundo virtual.

### **Conclusiones**

El uso de las nuevas tecnologías de la información y comunicación ayudan al aprendizaje e inclusión de las personas con discapacidades, a través de realidad aumentada podemos mejorar el aprendizaje de los niños de 7 a 12 con discapacidad auditiva.

El aprendizaje lúdico tiene un efecto positivo, ya que permite que el aprendizaje sea más divertido y desarrolla las capacidades de los niños entre los 7 y 12 años de edad con capacidad auditiva.

La falta de conocimiento sobre el lenguaje de señas en las personas que rodean a los niños con discapacidad auditiva, afecta directamente en el desarrollo cognitivo y social de los mismos, se debe involucrar a todos los actores en el aprendizaje de esta lengua y así poder hablar de la verdadera inclusión social.

### **Referencias**

- Azuma, R. (1997). *A survey of augmented reality* (6). Presence Teleoperators Virtual Environ.
- Buitrago, R. D. (2013). *Estado del arte: Realidad aumentada con fines educativos*. Esc. Colombiana Carreras Ind. ECCI.
- CONADIS. (2015). *Manual práctico para intérpretes en lengua de señas ecuatoriana*. Quito, Ecuador: Fenasec.
- El Comercio. (2014). *elcomercio.com*. Retrieved from <http://www.elcomercio.com/tendencias/ensenanza-lenguadesenas-inclusion-discapacidadesauditiva.html>
- Hegarty, S. (1994). *Educación de niños y jóvenes con discapacidades*. UNESCO.

Lozada, R., & Bonifaz, E. (2016). *Realidad aumentada sus desafíos en la educación: aplicaciones en el Área Matemática*. Retrieved from researchgate.net.

UNESCO. (2011). *Unesco.Org*. Retrieved from <http://www.unesco.org/fileadmin/multimedia/hq/ed/pdf/GAW2014-fact-figures-ES.pdf>

## Anexo

### A. Código Fuente de la aplicación

```
void Update()
{
    if(Input.GetKey(KeyCode.UpArrow))
        transform.Translate(Vector3.forward * moveSpeed * Time.deltaTime);
    if(Input.GetKey(KeyCode.DownArrow))
        transform.Translate(-Vector3.forward * moveSpeed * Time.deltaTime);
    if(Input.GetKey(KeyCode.LeftArrow))
        transform.Rotate(Vector3.up, -turnSpeed * Time.deltaTime);
    if(Input.GetKey(KeyCode.RightArrow))
        transform.Rotate(Vector3.up, turnSpeed * Time.deltaTime);
}
```

# Redes eléctricas inteligentes: el camino hacia el Internet de la Energía

**Marcos A. Ponce Jara**

marcos.ponce@uleam.edu.ec

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

**Carlos Velásquez**

carlos.velasquez@uleam.edu.ec

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

**Mai Thi Nguyen**

thi.nguyen@uleam.edu.ec

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

## Resumen

La modernización del sistema eléctrico tradicional hacia las Redes Eléctricas Inteligentes (REI) se está llevando a cabo de forma acelerada a nivel mundial, donde países desarrollados como países en vías de desarrollo, han dado el paso hacia la digitalización progresiva de sus Redes Eléctricas (RE). A través de la integración de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs), las REI se convertirán en una moderna red automática capaz de proteger, monitorear y optimizar el trabajo de todos los elementos interconectados, donde, además, tanto la energía como la información fluirán de forma bidireccional. La presente investigación busca describir la capacidad que tienen las REI para transformar el sistema eléctrico tradicional, hacia un sistema de energía más amigable con el medio ambiente, seguro y confiable. Además, plantea el Internet de la Energía (IoE) como una evolución natural desde las REI. Así la implementación de las REI es el trasfondo del IoE donde la energía fluye hacia los consumidores, como los paquetes de datos lo hacen en internet. Además, plantea cuáles serán las posibles implicaciones de este nuevo paradigma en un futuro próximo.

**Palabras claves:** Redes Eléctricas Inteligentes, Internet de la Energía, Monopolio energético.

## Abstract

The modernization of the traditional electrical system towards Smart Grids (SG) is being accelerated worldwide. Both developed and developing countries have taken the step towards the progressive digitization of their Electricity Grids (EG). Through the integration of Information and Communication Technologies (ICTs), SG will become a modern automatic network capable to protect, monitor and optimize the work of all interconnected elements where both energy and Information will flow bidirectionally. The present research seeks to describe the ability of SG to transform the traditional electrical system into a more environmentally friendly, safe and reliable energy system. In addition, the Internet of Energy (IoE) is seen as a natural evolution from the SG. Thus, the implementation of SG is the backbone of IoE where energy flows to consumers as data packages do on the Internet. Furthermore, it exposes the possible implications of this new paradigm in the near future.

**Keywords:** Smart Grid, Internet of Energy, Energy Monopoly.

## Introducción

En el siglo XXI, las redes eléctricas han crecido de forma acelerada, convirtiéndose en gigantescos sistemas interconectados, donde cientos de centrales de generación entregan energía a los lejanos centros de carga a través de líneas de transmisión de alto voltaje. Este sistema de entrega de energía, se ha visto fortalecido durante décadas gracias a los beneficios del uso de combustibles fósiles (carbón, gas y petróleo) en las grandes plantas térmicas (Cao and Yang, 2013), las cuales, como consecuencia, han liberado grandiosas cantidades de gases de efecto invernadero a la atmósfera, contribuyendo en gran medida al deterioro del medio ambiente de hecho se sabe, que aproximadamente el 29% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero son causadas por la generación de electricidad (EPA, 2015). Como forma de mitigar los efectos económicos y medioambientales causados por esta situación, las energías renovables y distribuidas están haciendo su aparición como la solución más viable y sostenible a corto y largo plazo, sobre todo debido a la posible escasez de los recursos fósiles en la primera mitad del presente siglo y con ello todos los riesgos asociados a la seguridad energética (Ponce-Jara, 2015).

Como primera consecuencia de todos estos puntos tratados, se ha hecho necesaria y deseable una perspectiva más “verde” de cómo generar, transmitir, distribuir y consumir energía. En este sentido tanto los países desarrollados como en vías de desarrollo están modernizando su sistema eléctrico hacia un sistema más moderno y automatizado llamado Redes Eléctricas Inteligentes (REI, Smart Grid en inglés). Se espera que las REI introduzcan un alto grado de inteligencia en los sistemas de distribución y control, desde un centro principal hacia todos los nodos de la periferia, permitiendo así un control más preciso de las pérdidas de energía, así como una adaptación más adecuada de cada uno de sus elementos (Hashmi et al., 2011). Todo esto será posible mediante la introducción de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) como espina dorsal de este nuevo paradigma generando un sistema que mejore todas las facetas del sistema de suministro de electricidad.

La inclusión de los consumidores como parte activa en esta cadena (prosumers), permitirá que estos puedan escoger como, cuando y que consumir en función de sus necesidades energéticas, ofreciendo visibilidad bidireccional y control sobre el sistema eléctrico. La generación distribuida como mini-centrales hidráulicas, bio-energía, energía solar o energía eólica serán uno de los pilares fundamentales de este nuevo paradigma energético (Simões et. al., 2011).

Las REI es un concepto relativamente nuevo que empezó a forjarse alrededor del año 2005 y se ha ido configurando con el tiempo, desde entonces es posible que las REI se estén convirtiendo en algo mucho más grande, que tan solo una simple herramienta para manejar el sistema eléctrico. A través de la incorporación de las TICs y de las energías renovables y distribuidas, es viable pensar que esta modernización este trayendo consigo una nueva manera de crear y compartir la energía. Entonces, el elemento disruptivo que puede desencadenar un cambio revolucionario como este son las TICs, las cuales ya están transformando el escenario de la información y la comunicación desde un sistema cerrado y centralizado hacia un sistema abierto y colaborativo (Don Tapscott and Williams, 2007), hecho que ha provocado profundos cambios sociales y económicos a nivel mundial. Si tomamos como ejemplo el desarrollo del internet de las cosas (IoT) –paradigma web para conectar, monitorear y controlar los objetos de la vida diaria-, es posible entrever como las REI está creando un complejo ecosistema dinámico donde la convergencia de las TICs con las RE están llevando a una posible progresión natural hacia el Internet de la Energía (IoE)(Bui et. al., 2012).

En este sentido, es posible pensar que el sistema eléctrico del siglo pasado, dominado por grandes plantas de generación de electricidad, pueda ser poco a poco transformado hacia un sistema de generación ampliamente disperso y abierto que pueda traer beneficios económicos a los también dispersos propietarios. Como es obvio, esta perspectiva de las REI puede ser percibida con un elemento opuesto al modelo de negocios tradicional de la energía eléctrica, que, si bien en un primer momento parecería que refuerza el actual monopolio energético, es muy probable que en un futuro próximo pueda cambiarlo de forma sustancial.

### **Energía y desarrollo sostenible**

En el mundo actual dependemos casi por completo de las energías para cubrir la mayoría de nuestras necesidades, desde la generación de electricidad, pasando por el transporte, hasta la generación de calor. Aproximadamente el 75% del sector energético usado para tal propósito, está formado por fuentes no renovables (carbón, petróleo y gas) y un 25% está formado por otro tipo de energías como la nuclear con un 6%, hidráulica con un 7% y el restante 13% que engloba todas las demás fuentes de energías, incluidas las energías renovables (Ponce-Jara, 2015).

A pesar del impulso dado en las últimas décadas para desarrollar y desplegar las energías renovables, aún dependemos fuertemente de los combustibles fósiles y se pronostica que esta tendencia continuará durante varias décadas más. Ante este panorama energético y teniendo en cuenta las proyecciones de demanda de energía a corto y largo plazo a nivel mundial, es necesario replantear y buscar nuevas formas de generar y consumir energía que propicien un desarrollo más sostenible de nuestras sociedades.

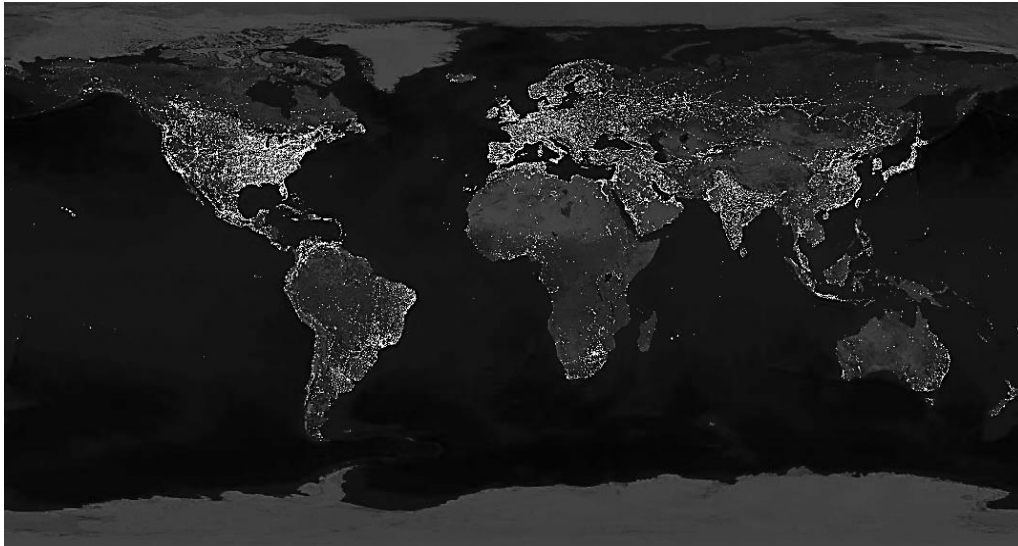
Cuando se habla de energía y desarrollo, nos encontramos con un panorama donde se aprecia claramente la desigualdad que existe entre países ricos y pobres, donde la distribución del consumo de la energía juega un papel clave como indicador para tal cometido. En la figura 1, se observa el planeta tierra desde el espacio, en la noche. Con solo darle un rápido vistazo al grado de iluminación entre países o continentes, es fácil percatarse de las diferencias de desarrollo entre ellos.

El contraste entre países pobres y ricos se hace evidente, los países desarrollados como los situados en Europa Occidental, Norteamérica, áreas del extremo Oriente, Sudáfrica y Australia, discrepan con el inmenso vacío del continente africano, donde apenas destacan las leves luces del Magreb y Sudáfrica o incluso, el interior del continente sudamericano.

Hoy en día se estima que el consumo de energía en los países desarrollados es 80 veces superior al de África subsahariana. Menos de la cuarta parte de la población mundial, la que habita en el mundo industrializado, consume las 3/4 partes del total de la energía disponible.

En el mundo hay aproximadamente 2.000 millones de personas que no tienen acceso a la electricidad y alrededor de 1.200 millones que no disponen de agua potable. Frente a ello se encuentra el caso extremo de EE.UU. que con menos del 5% de la población mundial consume más del 20% del consumo energético total. Otro ejemplo que ilustra esta desigualdad, es el uso y posesión de automóviles particulares: el 92% de la población mundial no tiene automóvil; mientras que en EE.UU. y la UE hay un auto por cada 1,8 y 2,8 habitantes respectivamente, en África solo 1 por cada 10, y en China 1 por 1.375 (UNED, 2016). De esta manera y como era de esperar, se puede afirmar que existe una correlación casi lineal entre el grado de desarrollo económico y el consumo de energía por habitante. Esto se debe a que el desarrollo económico de

un país se relaciona directamente con sus capacidades productivas, en el sector primario (agricultura, ganadería, pesca y minería), secundario (industrias) y terciario (servicios).



**Figura 1.**

La tierra desde el espacio

**Fuente:** NASA, 2017

### **El acceso universal a la energía eléctrica**

La energía eléctrica es un eje fundamental para cualquier país desarrollado o en vías de desarrollo. Todos ellos requieren un acceso seguro a diferentes tipos de fuentes de energía para alimentar cada una de las áreas que impulsan la economía del país, así como para cubrir las necesidades básicas de sus habitantes. No obstante, las aspiraciones entre países desarrollados y en vías de desarrollo varían significativamente. Mientras que los países desarrollados se enfocan más hacia la incorporación de fuentes de energías renovables, a la seguridad y eficiencia energética, los países en vías de desarrollo están más enfocados a mejorar su ya envejecida infraestructura, a reducir sus altas pérdidas en la transmisión, distribución y por robos de energía, y a la reducción de los cortes eléctricos, los cuales son algunos de sus principales problemas (Hashmi et al., 2011).

En este sentido, en muchos de los países en vías de desarrollo el acceso a la energía eléctrica no está garantizado para todos. De acuerdo con (IEA, 2011)<sup>3</sup> el capital de inversión requerido entre el 2010 y 2030 para asegurar el acceso universal a la energía eléctrica está alrededor de USD 640 billones de dólares. Las soluciones para mitigar este problema pasan por la combinación de las tecnologías en la red, mini redes y soluciones fuera de la red o en modo isla. No hay una combinación única para solucionar los problemas de acceso a la energía de cada país, pues cada uno de ellos tiene acceso a un tipo particular de recursos energéticos y también a patrones de comportamiento climático bien diferenciados.

Se estima que la extensión de la red eléctrica es la opción más viable para aproximadamente el 30% de las áreas rurales, sin embargo, para zonas muy alejadas esta opción no sería económicamente viable. Por lo tanto, el 70% restante de las áreas rurales deberían de abastecerse como mini redes eléctricas (el 65%) o con

---

<sup>3</sup> Tomando como escenario que alrededor de 550 millones de personas obtendrán acceso a la energía eléctrica y 860 millones acceden a tener instalaciones limpias para cocinar (2010-2030)



pequeñas soluciones de generación fuera de la red (35%). Las soluciones fuera de la red no tienen costos de transmisión y distribución, no obstante, si altos costos por MWh. Las mini redes proveen generación centralizada a un nivel local usando las redes eléctricas existentes en el lugar, estas son una solución competitiva en áreas rurales y pueden permitir el crecimiento futuro de la demanda. Hay que tener presentes que la mayor parte de estas estimaciones recaen sobre África subsahariana y Asia, que es donde se concentra la mayor parte de la población sin acceso a electricidad. América latina requiere una inversión de aproximadamente \$6 billones en el periodo mencionado (IEA, 2011).

El acceso a la energía eléctrica para todos requerirá un aumento en la generación global de 2,5% (alrededor de 840 TWh) requiriendo una adición de aproximadamente 220 GW. De este total, el 45% se espera alcanzar a través de la ampliación de la capacidad de las plantas eléctricas nacionales, el 36% por mini redes y el 20% por soluciones aisladas de la red. Cabe recalcar que del 45%, el 60% vendrá dado por combustibles fósiles, siendo el carbón el que más contribuirá, el 24% por energías renovables (solar, eólica e hidráulica), el restante 23% está compuesto por energía nuclear y otras renovables. En el caso de las mini redes y las redes aisladas, se espera que el 93% sea proporcionado por energías renovables (solar, eólica, biomasa y pequeñas hidroeléctricas) y solo el 7% por diesel (IEA, 2011).

### Transición energética

Durante más de 100 años, la creciente demanda de electricidad ha sido abastecida en su mayoría por fuentes de energía baratas de origen fósil como el carbón, el gas o el petróleo; los cuales, como se ha comentado anteriormente, han liberado una gran cantidad de gases de efecto invernadero a la atmósfera siendo parte del cambio climático. No es de extrañar que el uso de estas fuentes de energía casi no haya sufrido variaciones desde 1973. De hecho, en dicha fecha la producción global de combustibles fósiles para generar electricidad representaba el 75.2%, mientras que en el 2013 esta se situaba en el 66.4% (IEA, 2015).

Es de destacar que durante este período la producción de gas natural ha aumentado un 9.6%, carbón un 3%, mientras que el petróleo ha disminuido drásticamente un 20.4% respecto al año 1973. Este aumento en el uso del gas antes que el petróleo es relativamente mejor, ya que el gas produce menos efectos contaminantes que su homónimo. Por otro lado, aunque la contribución de energías renovables ha aumentado 5.1%, hay que destacar que este aumento es mínimo comparando con el enorme incremento en la producción global de energía eléctrica (ver figura 2).

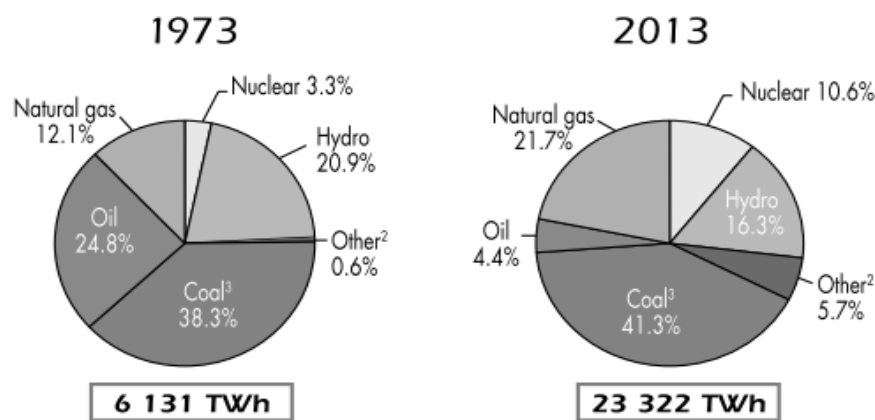


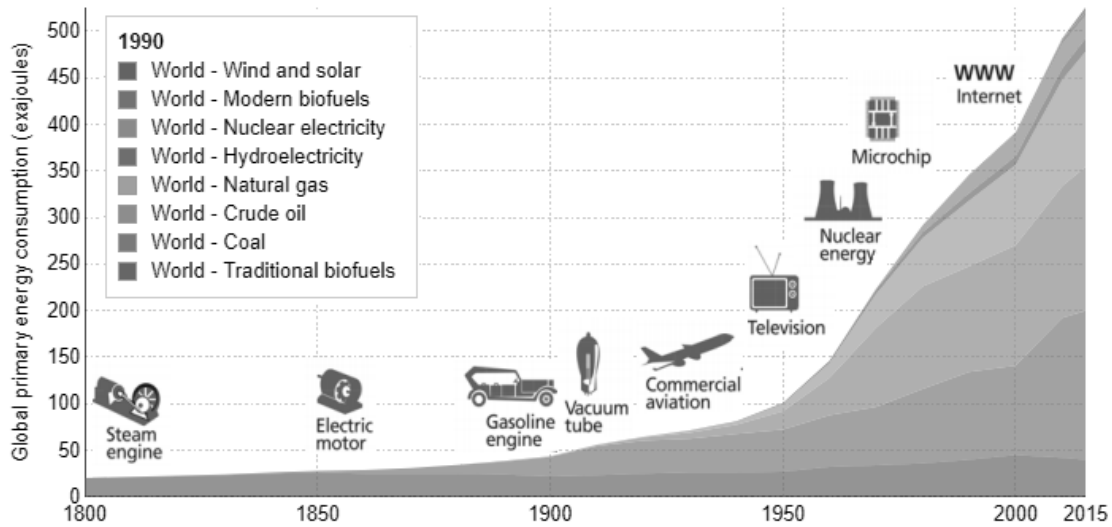
Figura 6.

Producción de combustibles fósiles para la generación de electricidad 1973-2013

Fuente: (IEA, 2015)

Como se ha podido constatar, aún hoy en día el consumo de combustibles fósiles en el sector eléctrico es muy alto y su reducción se ha convertido en una de las piedras angulares a la hora de luchar contra el cambio climático y a la hora de diversificar la matriz energética de los países a nivel mundial. Esto refleja de alguna manera el poder socioeconómico del régimen energético convencional, el cual ha evolucionado conjuntamente con las políticas, instituciones, prácticas sociales y normas. Según (Geels, 2010) a medida que estos combustibles se han integrado en la sociedad gozan de mayor apoyo institucional y legitimidad política.

Así, con el tiempo estos sistemas energéticos pueden desarrollar su propia inercia institucional, dificultando la modificación de su uso en el tiempo. Como ejemplo se puede citar el caso de EE.UU., el cual depende en un 33% (datos del 2016) del carbón para la producción de electricidad, siendo este uno de los recursos más abundantes se ha posicionado como uno de los pilares de la industria energética en el país, así los diferentes lobbies económicos se han opuesto fuertemente ante cualquier cambio en las políticas energéticas. Cambiar este patrón de consumo podría resultar muy costoso no solo para los dueños de las plantas eléctricas, sino también para los trabajadores de las minas de carbón (Cicero, 2010).



**Figura 7.**

Evolución de las fuentes primarias de energía por tipo de fuente

**Fuente:** (Weiler, 2014) and (Ritchie and Roser, 2017)

No obstante, la historia ha mostrado que la transición e innovación en el sector de la energía ocurre en momentos de escasez o limitaciones energéticas. Así, durante los pasados dos siglos, los países desarrollados han experimentado muchas transiciones energéticas. Por ejemplo, el consumo energético en los EE.UU. en el año 1870 paso de ser 70% madera a 70% carbón en el 1900, después 70% petróleo y gas en 1960 (Weiler, 2014). Estos cambios han estado acompañados por cambios en las tecnologías energéticas y en las provisiones de nuevos servicios energéticos como calefacción, aires acondicionados, alumbrado, entre otros, ver figura 3.

Según (Weiler, 2014), la prestación de los servicios energéticos no depende de ningún combustible, más bien la innovación se produce cuando surgen tecnologías energéticas, que pueden ofrecer mejoras sustanciales en la cantidad o calidad de los servicios energéticos que proporcionan. Estas tecnologías emergentes han sido generalmente más flexibles y han ofrecido una mejora significativa de la eficiencia en comparación con su predecesor. Es muy probable, que las futuras transiciones de energía sean impulsadas por las limitaciones impuestas por el cambio climático y el agotamiento de los suministros de combustibles fósiles. Esto dará un

gran impulso para el desarrollo de nuevos recursos y tecnologías energéticas, que no solo proporcionen un mejor servicio, sino que también sean favorables con el medio ambiente.

### **Las redes eléctricas inteligentes**

Las REI surgen con una oportunidad para modernizar y solucionar muchos de los problemas planteados, proveyendo además con las bases para construir un sistema de energía sustentable, moderna y confiable. No obstante, definir que son las REI es algo complicado, ya que existen numerosas definiciones que dependen del punto de vista del interlocutor y las tecnologías utilizadas. Uno de los enfoques dados en Europa las define como “un sistema eléctrico que inteligentemente puede integrar el comportamiento y las acciones de todos los usuarios conectados a él para entregar de forma eficiente suministros de energía eléctrica sostenibles, económicos y seguros”. Otra definición alternativa dada por el departamento de energía de los Estados Unidos hace hincapié en especificar los objetivos asignados a una red inteligente, aprovechando la seguridad del sistema como parte primordial e hilo conductor del mismo (Clastres, 2011).

No obstante, de forma práctica se utilizará una definición en términos de sus componentes, su aplicabilidad y sus usos. Uno de los principales componentes de las REI es el uso de las TICs, las cuales son el medio para conectar e interactuar de forma inteligente con todos los actores involucrados en la red eléctrica, proveyendo de una comunicación bidireccional entre las plantas generadoras de electricidad y cada uno de los diferentes consumidores de energía. En este sentido, este tipo de comunicaciones implicará un cambio de comportamiento del consumidor, el cual pasará de ser solo un ente pasivo que consume energía a ser un ente activo capaz de producir energía y optimizar sus patrones de consumo energético. Este nuevo consumidor recibe el nombre de Prosumer (Zhang, 2012).

De esta manera, el desarrollo de las REI se basa en una infraestructura de comunicación omnipresente que transmite gran cantidad de datos en tiempo real a través de redes de área amplia (WAN). Las WAN, presentes en las actuales redes eléctricas se basan en un híbrido de comunicaciones tales como comunicación por fibra óptica, comunicaciones mediante líneas de potencia (PLC, Power Line Communications), comunicaciones por líneas de cobre y una gran variedad de tecnologías wireless (Yan et al., 2013).

Además de lo mencionado, uno de los puntos fuertes de las REI es su capacidad para promover la integración de altos volúmenes de fuentes de energía renovable, facilitando su gestión y afrontando la impredecible naturaleza de fuentes renovables como la solar o eólica, las cuales se encuentran desigualmente distribuidas geográficamente y son vulnerables a las condiciones climáticas. Por lo tanto, las REI ayudarán a reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero a la atmósfera aportando con una respuesta rápida y adecuada ante el cambio climático.

De acuerdo con (Sinha et. al., 2011), algunas de las tecnologías y prácticas empresariales que posibilitan el despliegue de las REI incluyen:

- Medidores inteligentes
- Gestión de datos de los medidores
- Redes de área de campo
- Sistema de comunicación integrado
- Seguridad de datos
- Respuesta a la demanda
- Recursos de Energía Distribuida (almacenamiento, energías renovables y otras formas de generación distribuida)

Todos estos ítems mostrados contribuyen a satisfacer los principales objetivos de las REI, los cuales son (Li and Yao, 2010): (1) inclusión de todos los consumidores e industrias como parte integral y activa de la red; (2) entregar energía de calidad a las cargas sensibles de la red; (3) monitorización continua, detección automática de anomalías y restauración de los componentes de la red o secciones de ella; (4) resistencia a los ciber-ataques asegurando un enfoque integrado y equilibrado en todo el sistema; (5) gestionar una amplia cartera de sistemas de generación con un simplificado proceso de interconexión (plug-and-play); (6) integración de un mercado eléctrico mayorista junto con mercados minoristas donde sea aplicable; y (7) gestionar todos los recursos activos para ofrecer funcionalidad al menor costo.

Todos estos objetivos se están construyendo encima del actual monopolio regulado. Esto es como si desarrolláramos el Internet con solo una computadora, en vez de un mercado competitivo de hardware y software como el que tenemos hoy en día. Por tanto desarrollar las REI requiere nuevas tecnologías así como nuevos marcos regulatorios medioambientales y modelos de negocio (Eisen, 2013).

Desde una perspectiva evolutiva, las REI son vistas como una modernización de todo el sistema eléctrico desde la generación de electricidad hasta su consumo. Este nuevo concepto integra sistemas de medición inteligentes, sensores y actuadores a lo largo y ancho de toda la red eléctrica, así como dispositivos y servicios para el consumidor (Knight et al., 2010).

No obstante, las REI también pueden ser percibidas como un intento por integrar las TICs (de comunicación rápida y disruptiva), en una infraestructura envejecida y lenta como son las RE tradicionales (IEA, 2011). Esta última requiere un enfoque de un “sistemas dentro de los sistemas” para integrar los volátiles y complejos sistemas sociales, económicos y políticos de nuestro mundo con una estructura centralizada “top-down” de un monopolio regulado, los cuales determinaran que aspecto podrá tener la red inteligente en un futuro próximo.

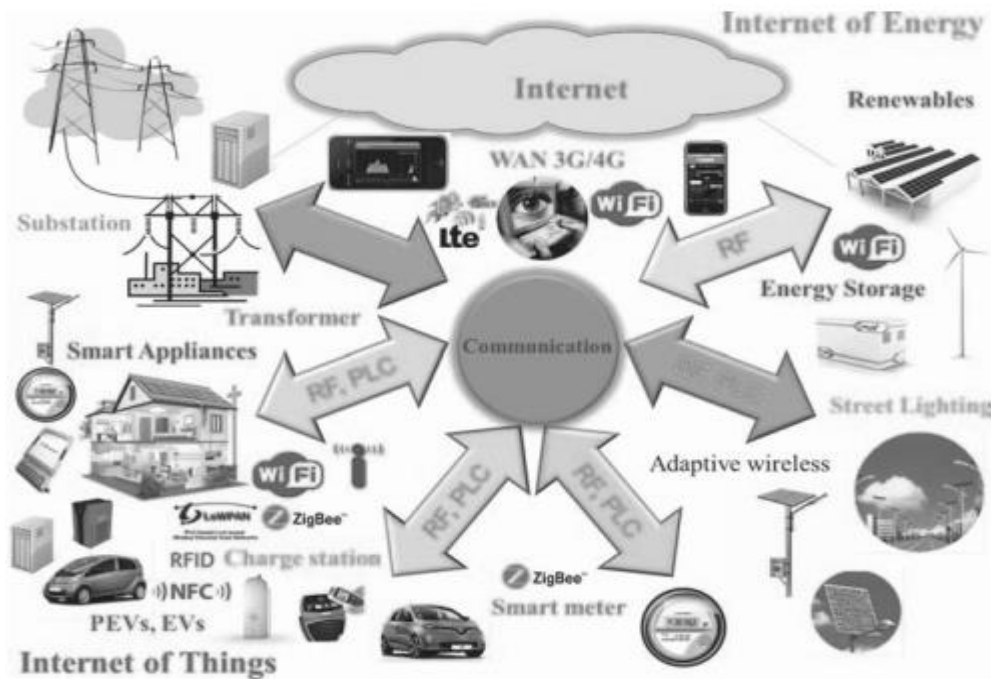
### **El internet de la energía**

El Internet es conocido por ser una tecnología disruptiva, la cual ha conllevado cambios profundos tecnológicos, demográficos y económicos. Además ha permitido que surjan poderosas maneras de producción basadas en comunidades, colaboraciones y auto-organización (Don Tapscott and Williams, 2007). De esta manera, ha impulsado y dado la posibilidad a las personas de organizarse, generar y distribuir su propio contenido digital a todo el mundo. Así, a través de las prácticas colaborativas el Internet está creando un nuevo sistema social de cooperación que está impulsando una economía colaborativa (Zuboff, 2010).

En este sentido, cuando el paradigma centralizado de la energía eléctrica se encuentra con la inteligencia distribuida de internet, se produce una cierta preocupación en cuanto al futuro del sistema eléctrico tal cual lo conocemos hoy en día. Además, con las innovaciones en las TICs y el desarrollo del IoT, nuevos dispositivos están viendo la luz en internet dándoles conciencia y capacidad de tomar decisiones, además de agregarles capacidades similares a las pantallas eléctricas. Estas innovaciones están creando el Internet de la Energía (Weiler, 2014).

El Internet de la Energía se puede definir como “una infraestructura de red basada en estándares y transceptores de comunicación interoperables, Gateway y protocolos que permitirán un balance en tiempo real entre la generación local y global y capacidad de almacenamiento con la demanda de energía” (Vermesan and Friess, 2013).

De forma general se puede decir que las convergencias de las TICs con las redes eléctricas tradicionales, han dado paso a las REI y con ello se está produciendo una progresión natural hacia el Internet de la Energía (IoE). Al igual que pasa con el caso del Internet de las cosas, con el IoE todos los dispositivos estarán embebidos con inteligencia y conectados a Internet, proporcionando información en tiempo real y permitiendo optimizar la generación y uso de la energía (Weiler, 2014). En este contexto, este nuevo concepto requiere una arquitectura basada en la web para garantizar el envío de la información según se demande y cambiar progresivamente en las RE tradicionales hacia una red eléctrica que incorpore elementos inteligentes. Como se puede ver en la figura 4, el IoE aprovechará los canales de información proporcionados por Internet para conectar los diferentes equipos, los dispositivos y los servicios con la red inteligente de energía distribuida que es la carretera de carga para las fuentes de energía renovable. Esto permitirá que las partes interesadas puedan invertir en tecnologías “verdes” y vender el exceso de energía a las empresas de servicios públicos (Vermensan and Friess, 2013).



**Figura 8.**

Internet de las cosas embebido en el Internet de la Energía

**Fuente:** Vermensan and Friess, 2013

Hay una creciente preocupación sobre cómo cambiará este paradigma las reglas del juego, en cuanto a las políticas energéticas de la generación de la energía, el consumo y las infraestructuras. Como ya se ha comentado antes, nuestras necesidades energéticas diarias no deberían estar basadas en combustibles fósiles, sino más bien en fuentes de energía renovable. Muy probablemente, en un futuro próximo, la red eléctrica estará caracterizada por un alto número de pequeñas y medianas fuentes de energías distribuidas. Además, en caso de producirse algún fallo o desastres naturales ciertas áreas podrían ser aisladas de la red y ser alimentadas mediante fuentes de energía interna como pueden ser paneles fotovoltaicos, sistemas eólicos, fuentes de almacenamiento de energía, entre otros (Vermensan and Friess, 2013).

Al igual que pasa con el IoT, el cual distribuye la capacidad de tomar decisiones en vez de centralizarlas y promueve una actitud cooperativa entre sus partes, cuando se trata del IoE este comportamiento cooperativo se puede observar con el concepto de “Virtual Power Plant”. Este concepto involucra la incorporación de recursos energéticos distribuidos, que cuando están conectados en red pueden proporcionar una “flota” de recursos que son el equivalente funcional a una central tradicional de energía (Zhou et. al., 2016).

### **Futuro del sistema eléctrico**

La característica de un sistema eléctrico tradicional, es que este opera de forma centralizada en un monopolio regulado. Durante más de 100 años, el negocio de la electricidad ha visto que la manera más eficiente para proveer energía a los clientes era servirlos mediante una única infraestructura de generación, transmisión y distribución y mediante la búsqueda de economías de escala. Este modelo de negocio fue establecido para proporcionar un negocio estable, que minimizara los riesgos a la hora que se imponían barreras para competir y promover cambios en el sistema (Weiler, 2014). Así, con la aparición de las REI, el progreso de este nuevo sistema dependerá en gran medida de los actores cuyo conservatismo ha retardado históricamente la innovación en este campo. Este hecho es reforzado a través de los inventos conservatoritas y los pequeños cambios incrementales que sirven para preservar el actual sistema energético. Este dinamismo se puede apreciar en la industria eléctrica, con la búsqueda de tecnología que minimice los efectos de los combustibles fósiles. Lo que sí está claro, es que, aunque estas nuevas tecnologías pueden reducir los efectos de los gases de efecto invernadero, también refuerzan el sistema eléctrico tradicional, así como a todos los negocios asociados a la industria eléctrica como la minería.

La REI enfrentan muchas barreras que pueden limitar su desarrollo. No solo el conservatismo en la industria, sino también la falta de demanda de los consumidores por productos inteligentes de las REI o los problemas con la privacidad de los datos que fluirán por las redes eléctricas. Además, las motivaciones regionales y estatales para desarrollar las REI son muy diferentes de país en país y aunque los cambios climáticos afecten a todos por igual, las razones que cada país tiene para contribuir a su mitigación también son diferentes.

Esta diferencia se puede apreciar por ejemplo entre EE.UU. y EU, los cuales han tomado diferentes posturas en cuanto al protocolo de Kioto. El primero nunca ha ratificado el convenio, mientras que el segundo si lo ha hecho y esto tiene mucho que ver con las reservas de recursos fósiles que tiene cada uno y de los monopolios energéticos inherentes a cada país. Así, aunque en ambos países se esté produciendo un cambio hacia las REI, se puede entrever que en algunos casos las REI pueden ayudar a favorecer la generación de la energía mediante el uso de combustibles fósiles mientras que, en otros, puede favorecer el uso masivo de energías limpias.

### **Conclusiones**

El tipo de energía que actualmente usamos para producir electricidad, está creando una serie de problemas medioambientales que ponen en serio riesgo el equilibrio del planeta. De hecho, el porcentaje de combustibles fósiles usados para este propósito no ha cambiado sustancialmente desde 1973.

Las REI surgen como medio para hacer frente a este problema gestionando e integrando de forma eficiente la generación, distribución, transmisión y consumo de la energía. La fuerte inclusión de las energías distribuidas y renovables juega un papel clave para este propósito. No obstante, el sistema eléctrico se ha vuelto demasiado

complejo y la introducción de las REI con un control centralizado podría no ser la solución para manejar la creciente introducción de fuentes de energía renovable a red.

Para conseguir que las REI traigan consigo un cambio revolucionario, es necesario policías regulatorias que impulsen los precios asociados a las energías renovables frente a los costos de la energía térmica. Esto no siempre es posible y tiene que ver mucho con los recursos naturales que cada país posee, así como de los monopolios energéticos presentes en los mismos. Es posible que REI en muchos casos refuercen la producción de electricidad mediante combustibles fósiles.

Al igual que las TICs, juntamente con el IoT, revolucionó el mundo de las comunicaciones y los negocios asociados a estos, el IoE puede cambiar sustancialmente la forma en que se hacen negocios con la energía y de esta manera la estructura actual del sistema eléctrico. A través del IoE, se podrán crear nuevos servicios energéticos a medida que los dispositivos de la red se vayan incorporando en el sistema.

## Referencias

- Bui, N., Castellani, A.P., Casari, P., Zorzi, M. (2012). The Internet of energy: A web-enabled smart grid system. *IEEE Netw.* pp. 39–45.
- Cao, J., Yang, M. (2013). *Energy Internet – Towards Smart Grid 2.0. Fourth Int. Conf. Netw. Distrib. Comput.* 105–110. doi:10.1109/ICNDC.2013.10
- Center for International Climate Research Oslo CICERO (2010). Energy security and climate change concerns: Triggers for energy policy change in the United States. *Energy Policy* 38, pp. 1645–1653. doi:10.1016/j.enpol.2009.01.045
- Clastres, C. (2011). Smart grids: Another step towards competition, energy security and climate change objectives. *Energy Policy* 39, pp. 5399–5408. doi:10.1016/j.enpol.2011.05.024
- Don Tapscott, Williams, A.D. (2007). *Wikinomics: How mass collaboration changes everything*, 1r ed.
- Eisen, J.B. (2013). *Smart regulation and federalism for the smart grid* [WWW Document]. Harvard Environ. Law Rev. URL <http://harvardelr.com/wp-content/uploads/2013/05/Eisen.pdf>
- Environmental Protection Agency EPA (2015). *Sources of greenhouse gas emissions* [WWW Document]. URL <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions> (accessed 8.12.17).
- Geels, F.W. (2010). Ontologies, socio-technical transitions (to sustainability), and the multi-level perspective. *Res. Policy* 39, pp. 495–510. doi:10.1016/j.respol.2010.01.022
- Hashmi, M., Hänninen, S., Mäki, K. (2011). Survey of smart grid concepts, architectures and technological demonstrations worldwide, in: *IEEE PES Conference On Innovative Smart Grid Technologies Latin America*. pp. 1–7. doi:10.1109/ISGT
- International Energy Agency IEA (2015). *Key world energy statistics*. doi:10.1787/9789264039537-en

- International Energy Agency IEA (2011). *Technology roadmap - smart grids*. doi:10.1007/SpringerReference\_7300
- Knight, M., Street, S.B., Brownell, N. (2010). *How does smart grid impact the natural monopoly paradigm of electricity supply?* Part I Knight-Brownell. Grid-Interop Forum.
- Li, Z., Yao, T. (2010). *Renewable energy basing on smart grid*. 6th Int. Conf. Wirel. Commun. Netw. Mob. Comput. WiCOM 1–4. doi:10.1109/WICOM.2010.5600862
- NASA (2017). *Earth observatory* [WWW Document]. URL <https://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/view.php?id=79765>
- Ponce-Jara, M.A. (2015). *Ciudades inteligentes y sistemas de movilidad sostenibles*.
- Ritchie, H., Roser, M. (2017). *Energy production & changing energy sources* [WWW Document]. URL <https://ourworldindata.org/energy-production-and-changing-energy-sources/> (accessed 8.12.17).
- Simões, M.G., Roche, R., Kyriakides, E., Miraoui, A., Blunier, B., McBee, K., Suryanarayanan, S., Nguyen, P., Ribeiro, P. (2011). *Smart-grid technologies and progress in Europe and the USA*. IEEE Energy Convers. Congr. Expo. Energy Convers. Innov. a Clean Energy Futur. ECCE, Proc. pp.383-390. doi:10.1109/ECCE.2011.6063795
- Sinha, A., Neogi, S., Lahiri, R.N., Chowdhury, S., Chowdhury, S.P., Chakraborty, N. (2011). Smart grid initiative for power distribution utility in India. *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.* pp.1-8. doi:10.1109/PES.2011.6038943
- Universidad Nacional de Educación a Distancia UNED (2016). *Energía y desarrollo sostenible* [WWW Document]. URL <http://www2.uned.es/biblioteca/energiarenovable3/sostenibilidad.htm> (accessed 8.1.17).
- Vermensan, O., Friess, P. (2013). *Internet of things : Aalborg*.
- Weiler, S. (2014). *From smart grids to the internet of energy. From smart grids to internet energy*.
- Yan, Y., Qian, Y., Sharif, H., Tipper, D. (2013). A survey on smart grid communication infrastructures : Motivations, requirements and challenges. *IEEE Commun. Surv. Tutorials* 15, pp.5-20.
- Zhang, J. (2012). The Impact of renewable energy resources on demand response management in a smart grid, in: *IEEE 13th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications*. pp. 475-479. doi:DOI: 10.1109/SPAWC.2012.6292953
- Zhou, K., Yang, S., Shao, Z. (2016). Energy Internet : The business perspective. *Appl. Energy* 178, pp. 212-222. doi:10.1016/j.apenergy.2016.06.052



Zuboff, S. (2010). *Creating value in the age of distributed capitalism* [WWW Document]. McKinsey Q. URL Recuperado de <https://glennas.files.wordpress.com/2010/12/creating-value-in-the-age-of-distributed-capitalism-shoshana-zuboff-september-2010.pdf> (accessed 5.28.17).

# Importancia de la difusión y utilización de contenidos educativos 3D

**Leticia Vaca-Cárdenas**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH  
leticia.vaca@esPOCH.edu.ec

**Diego Machado**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH  
machado@esPOCH.edu.ec

**Miguel Duque**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH  
miguel.duque@esPOCH.edu.ec

## Resumen

Actualmente, el desarrollo tecnológico, las múltiples TICs y tecnologías emergentes disponibles, han revolucionado y evolucionado todas las áreas de la producción, cambiando la perspectiva de la educación, que debe responder a las necesidades de la sociedad del siglo XXI. La correcta difusión y manipulación de la información son poder y conocimiento, lo que se facilita a través del uso de tecnologías emergentes, que en educación apoyan el proceso de aprendizaje y crean nuevas formas de interacción, más ágiles, dinámicas y entretenidas. El presente trabajo tiene como fundamento principal, hacer un estudio comparativo del uso de tecnologías emergentes en proyectos y estudios científicos relacionados y las herramientas existentes que al ser utilizadas en educación potencializan el rendimiento académico, además presentar una propuesta innovadora para la difusión de contenidos educativos 3D, con la utilización del holograma y los mundos virtuales por sus características de ubicuidad en tiempo real.

**Palabras claves:** 3D, TIC, Tecnologías emergentes, Web 3.0, Mundos virtuales, Hologramas.

## Abstract

Currently, technological development, the multiple ICT and emerging technologies available, have revolutionized and evolved all production areas, changing the perspective of education that must respond to the needs of 21st-century society. The correct dissemination and manipulation of information are power and knowledge, which is facilitated through the use of emerging technologies that in education support the learning process and create new ways of interaction, more agile, dynamic and entertaining. The main goal of this work is to make a comparative study of the use of emerging technologies in projects and related scientific studies and the existing tools, that when they are used in education, enhance the academic performance, besides it, an innovative proposal is presented for the dissemination of 3D educational contents with the use of the hologram and the virtual worlds by their characteristics of ubiquity in real time.

**Keywords:** 3D, ICT, Emerging technologies, Web 3.0, Virtual worlds, Holograms.

## Introducción

Hoy en día, en la era de la información y la comunicación, el internet y la amplia gama de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) y tecnologías emergentes disponibles en el medio han provocado un giro en todas las áreas del conocimiento y han cambiado la perspectiva de la educación que no puede quedarse

relegada frente a los procesos que exige la sociedad actual (Hirshman, 2016). Ésta perspectiva continúa en crecimiento con la llegada del Internet of things o Internet de las cosas y el lugar que éste exige en la educación (Atzori, Iera, & Morabito, 2010)(Uskov, Pandey, Bakken, & Margapuri, 2016) ( Yang & Yu, 2016). En ésta época moderna, la información es poder y el manejo de ella es facilitada a través del uso de tecnologías emergentes y TICs (Adu & Galloway, 2015).

El uso de tecnologías emergentes provee múltiples ventajas, por un lado mejora el enfoque del aprendizaje y por otro crea nuevas formas de interacción y difusión (Bai, Mo, Zhang, Boswell, & Rozelle, 2016) (Forcheri & Molfino, 2000). Las TICs incluyen varias tecnologías usadas para conocimiento y comunicación, ellas trabajan con infinidad de información la cual crean, manejan, almacenan, comunican y difunden (Hubackova & Klimova, 2014) (Vajargah, Jhani, & Azadmanesh, 2010).

De este modo, el presente trabajo tiene como fundamento principal hacer un estudio de las tecnologías emergentes existentes, que pueden ser utilizadas en el ámbito educativo, así como también presentar una propuesta innovadora para la difusión de contenidos educativos 3D junto a una investigación bibliográfica comparativa de artículos científicos relacionados y sus resultados.

### **Contexto Local**

Nuestro sistema educativo ha dado pasos importantes en su evolución, adaptación y proceso de globalización, sin embargo, todavía existe insuficiente inserción tecnológica como herramientas para la difusión de contenidos 3D a nivel de educación. El vertiginoso crecimiento de la tecnología desde la década del 2000 soportada en la famosa Ley de Moore y las consecuencias de su aplicación a escala global, afecta indiscutiblemente, a los países en vías de desarrollo por su limitante económico para adquirirlos. El escenario de desventaja de los países latinoamericanos (y el nuestro no es la excepción) frente a las potencias mundiales, al competir en el desarrollo de herramientas tecnológicas que alcancen al menos los mínimos estándares de aquellas tecnologías del primer mundo.

Frente a todo ello, existe la valiosa oportunidad de desagregar tecnología foránea (procedente de países pioneros en tecnología multimedia, Japón, Corea, India) para la creación y adaptación de elementos de difusión multimedia que soporten contenidos educativos en 3D desarrollados por estudiantes, tesis, investigadores de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH. Es necesario aprovechar el germen intelectual de estudiantes, docentes e investigadores de la ESPOCH en temas relacionados a la electrónica digital, el desarrollo de software, entre otras, que promueve una actitud de innovación y de descubrimiento que apunten a la solución de problemas locales relacionados con la difusión de contenidos 3D.

### **Importancia del Problema**

En el Ecuador son pocas las alternativas tecnológicas presentes en la difusión de contenidos educativos 3D. Aún se depende de la pizarra tradicional y la tiza líquida (sin duda alguna, en más de una institución todavía se usa pizarra de madera y tiza). Para lo expuesto, basta con observar levemente a las instituciones educativas a nivel medio e incluso Superior (donde la ESPOCH no es la excepción) para notar que las deficiencias tecnológicas existen. Muy pocas cuentan con proyectores para sus aulas de clase, y el caso general, es que se deba utilizar en forma itinerante los pocos que se tiene en existencia y éstos deben trabajar a sobre tiempo para suplir la demanda que los estudiantes y los docentes requieren para sus clases.

Si se hace referencia a contenidos 3D, cada vez son más las plataformas y las herramientas que ofrecen su participación, sin embargo, es necesario que existan alternativas para difundirlas. Poco a poco se deberá hacer la transición del proyector de haz de luz clásico, a proyectores (o modelos alternativos) que permitan “ver” los contenidos en un ambiente 3D de alta definición, que haga que la absorción de contenidos educativos preparados, sean asimilados por los estudiantes y cumplan la premisa de que, de ésta forma, son más eficientes.

### **Estado del arte y trabajos relacionados**

Hoy en día, los docentes con los estudiantes de la nueva generación, enfrentan grandes retos en el área educativa, los Nativos Digitales “Digital Natives” (Prensky, 2001) (Rikhye, Cook, & Berge, 2009) tienen gran y natural experiencia con el uso de la tecnología y herramientas de comunicación pero debilidades en el entendimiento de tareas orientadas (Palfrey & Gasser Urs, 2008) (Vaca-Cárdenas et al., 2015).

Hace algunos años existía el temor en el uso de la tecnología como herramienta de apoyo a los procesos, pero la carrera tecnológica ha tenido un avance vertiginoso por lo que se han ido superando estos miedos y se ve como el ser humano es capaz de expresarse de manera diferente sin que ello conlleve el desvanecimiento de previas formas y lenguajes (Hern, 2004).

De acuerdo con muchos docentes investigadores, los estudiantes actuales son Nativos Digitales o tienen indicios del uso de nuevas tecnologías (McHaney, 2011). Ellos prefieren la recepción de información rápida y ágil, disfrutan de la multitarea y el acceso a la información de manera no convencional puesto que muchas veces se aburren con las clases y conferencias magistrales. Escogen el aprendizaje activo ante el pasivo (Bertacchini et al., 2012; Vaca-Cárdenas et al., 2016), poseen excelentes habilidades en el uso de tecnologías de la comunicación para acceder a la información, redes sociales e interactivas (Prensky, 2001). Por otra parte los docentes son considerados “Migrantes Digitales” extranjeros en el mundo digital, sin embargo existen puntos de vista alternativos (Rikhye et al., 2009). Por tanto existe disparidad entre estudiantes y docentes, lo que constituye un gran desafío en las actuales prácticas educativas (Vaca-Cárdenas et al., 2016) (Valenti, 2015).

La manera de difundir y dar a conocer la información es trascendental, a la hora de captar el interés y la motivación, de tal modo a continuación se reportan ciertos estudios y sus resultados

### **Enfoques y perspectivas de trabajos relacionados**

El papel de la comunicación en el proceso de aprendizaje es complejo. El primer paso para convertirse en un buen docente, es convertirse en un gran comunicador, que está atento y se adapta a los estudiantes y las circunstancias, es decir al entorno en donde se desenvuelve. Los docentes deben siempre cuestionarse acerca de la mejor manera de enseñar el contenido y lograr mejor interacción con los estudiantes. Comunicarse con claridad es la meta para asegurar el interés de los estudiantes en los objetivos de la asignatura, lo que incluye adquisición de la información, entendimiento, pensamiento crítico, etc., (Rabasco, Hus, García, Cruz, & García, 2015) (Titsworth, Mazer, Goodboy, Bolkan, & Myers, 2015).

### **Propuesta**

Con los antecedentes previos, se verifica que una adecuada, ágil, dinámica, entretenida comunicación y difusión de la información con fines instruccionales, es vital, aprovechando el Internet y la conocida web 3.0, para lo cual los docentes deben ser claros y precisos. Esto quiere decir que los docentes deben ser fácilmente entendidos y organizados al presentar el material, comunicando sus expectativas, explicando conceptos, dando

ejemplos y retroalimentación correspondiente, preguntando inquietudes y respondiendo las de los estudiantes. (McHaney, Warkentin, Sachs, Pope, & Ormond, 2015) (Titsworth et al., 2015).

El creativo uso de tecnologías emergentes, podría ayudar de manera positiva a hablar el mismo idioma de las nuevas generaciones, ya que los estudiantes usan la tecnología de manera natural y todo el tiempo (Duță & Martínez-Rivera, 2015)(Prensky, 2001)(Vaca Cárdenas et al., 2015).

Los sistemas digitales 3D, simulan el efecto que se produce en el ojo humano mientras percibe un objeto tridimensional real en los cines 3D. El proceso se genera, por ejemplo, cuando el proyector digital del cine reproduce las imágenes del ojo izquierdo y derecho a por lo menos 144 imágenes por segundo, intercaladamente, la tecnología 3D permite ver las imágenes y decodificarlas utilizando lentes especiales. Debido a la velocidad de imágenes y los lentes utilizados, cada uno de los ojos del espectador recibe una imagen, con puntos de vista distintos, haciendo que el cerebro interprete profundidad mediante la fusión de las imágenes. El sistema comenzó a ser usado mucho más en los primeros lustros del siglo XXI, llegando a ser llamado «el futuro del cine». (AdictivoX, 2011).

En tan poco tiempo se entró de lleno en el mundo de las tres dimensiones. Los cines se llenan de películas en 3D, las televisiones incorporan la tecnología tridimensional, el mundial de fútbol y actualidad se retransmitirán en 3D, pero... ¿cómo se originan las imágenes tridimensionales? ¿Cómo son las cámaras que lo graban? ¿Por qué vemos en tres dimensiones? La televisión convencional, la que la mayoría de la gente tiene en sus hogares, solo puede mostrar imágenes en dos dimensiones, las que estamos acostumbrados a ver. Sin embargo, las imágenes en 3D consiguen una sensación de profundidad más cercana a la vida real (Khanacademy, 2017).

La tridimensionalidad se debe al ligero distanciamiento entre los dos ojos, de modo que captan las imágenes desde ángulos distintos. La combinación de imágenes individuales vistas por cada ojo, consigue una sensación de profundidad y dimensión en la mente. Es lo que se conoce como paralaje y es la base sobre la que se han desarrollado las tecnologías en 3D. Cuando se filman imágenes en tres dimensiones, se utilizan dos objetivos separados por una distancia fija. Al contener el doble de información que las imágenes bidimensionales, las imágenes 3D deben ser editadas conservando la información desde ambos ángulos. Cuando se reproduce el contenido, cada ojo debe percibir el contenido específico para él, de modo que cuando se combinen en la mente se cree la sensación de profundidad (Khanacademy, 2017).

Luego del análisis elaborado, se propone el uso de tecnologías emergentes y medios para la difusión y elaboración de contenidos educativos 3D tales como:

### **Gafas 3D**

Para conseguir ver las imágenes existen distintas "tecnologías". Los sistemas más antiguos son los denominados "pasivos". Por un lado, las clásicas gafas de dos colores, que ya se utilizaban en los años 70 y cuyo principal problema era la pobreza de color de las imágenes por otro, las gafas polarizadas que permitían ver las imágenes proyectadas sobre la pantalla por el método "línea a línea" que polariza las líneas consecutivas del televisor. El problema de esta tecnología, es la reducción de la resolución original de la pantalla a la mitad, pues sólo la mitad de la información está disponible para cada ojo, lo que provoca que sea complicado reproducir películas con gran detalle. Las gafas "activas" por su parte, se basan en la transmisión de imágenes a la pantalla para el ojo izquierdo y el derecho de forma secuencial y a muy alta velocidad. En este sistema, las

gafas se sincronizan con el televisor para mostrar en cada ojo solamente la imagen que le corresponde, permitiendo una mayor calidad de los vídeos (Muyinteresante, 2017).

### **Realidad Aumentada (RA), más conocida como Augmented Reality**

La realidad aumentada mejora la percepción e interacción del usuario con el mundo real. Los objetos virtuales, muestran información que el usuario no puede detectar directamente con sus propios sentidos (Azuma, 1997). Es un medio educativo cada vez más accesible para los usuarios jóvenes, como los estudiantes de primaria y secundaria. Aunque investigaciones ha demostrado que los sistemas de RA tienen el potencial para mejorar el aprendizaje de los estudiantes, la comunidad educativa sigue siendo poco clara con respecto a la utilidad educativa de RA y en contextos en los que esta tecnología es más eficaz que otros medios educativos (Azuma, 1997).

Por ejemplo el proyecto Speak-up de la Universidad de California, es una iniciativa científica para el aprendizaje digital en los EEUU, presentaron un estudio en ese país para determinar el uso de la realidad aumentada (RA) y la realidad virtual (RV) en instituciones de nivel secundario, obteniendo como resultados que: los docentes citan como elementos clave integrar el contenido digital, los docentes dicen que les gustaría usar RA o RV en el salón de clases, los administradores educativos afirman que la RA y RV es una prioridad (Speackup, 2017). De aquí la necesidad de enfocarse hacia ese tipo de tecnología y la forma en como difundir los contenidos 3D.

### **Mundos virtuales o Ambientes virtuales 3D**

Los mundos o ambientes virtuales de acuerdo a los investigadores pueden ser útiles para: (1) espacios de comunicación, (2) simulación de espacios (espacial) y (3) espacios de experimentación ('actuando' en el mundo virtual) (Hew & Cheung, 2010). Los ambientes, entornos y mundos virtuales simulan un mundo artificial inspirado generalmente en la realidad o en la fantasía, dentro de los cuales un usuario puede interactuar entre sí a través de personajes conocidos como avatares y usar en ese ambiente objetos virtuales o trasladarse dentro de un ambiente diseñado para el efecto (Boulos & Hetherington, 2007) (Vaca Cardenas et al., 2015)(Vaca Cárdenas et. al., 2014).

### **Holografía en la Educación**

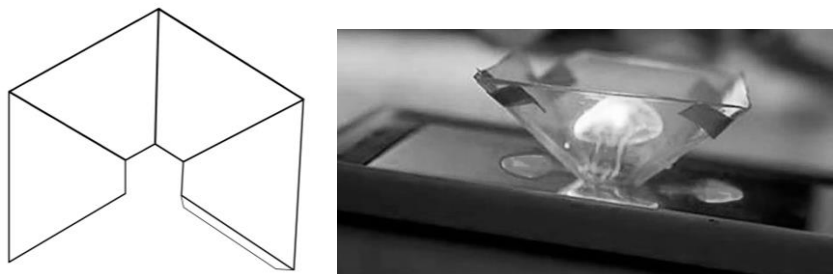
El holograma es el resultado del proceso holográfico, de manera similar a la foto que es el resultado del proceso fotográfico, ambos muy relacionados ya que se puede indicar que un holograma no es más que una fotografía realizada con el empleo de un láser y cuya característica principal es ser tridimensional (Serra Toledo, Vega, Ferrat, Lunazzi, & Magalhaes, 2009).

Esta característica es precisamente la que permite que el usuario vea desde distintos ángulos un elemento proyectado sobre una placa de vidrio, sin embargo, hay que aclarar que el objeto no existe en realidad, no se lo puede tocar, no se lo puede mover o manipular debido a que todo es solo una proyección, en otras palabras, se trabaja con una ilusión óptica (Serra Toledo et al., 2009). Incluir al holograma en la educación no es tarea fácil, de hecho (Serra Toledo et al., 2009) manifiesta que muchas universidades de América y Europa no incluyen la holografía como un tema a tratar en la disciplina de física pese a que esta permite estudiar varias técnicas ingenieriles de uso generalizado. Quizá la falta de conocimiento o la falta de recursos de los centros educativos, contribuyen a que el tema de la holografía sea tratado en su mayoría de forma teórica, cuando debería ser un tema aprovechado para poder crear prácticas de laboratorio que enseñen principios y aplicabilidad de muchos teoremas revisados en las diferentes asignaturas.

Para poder considerar al holograma como un medio de enseñanza y de educación social, se debe analizar las funciones didácticas que este medio puede aportar en el proceso de aprendizaje, considerando que las representaciones visuales son las más complejas de determinar si pueden aportar o no valor al proceso educativo, pero a su vez son las más importantes debido al valor de la percepción visual considerando que: según investigaciones, se demuestra que se necesita aproximadamente siete veces menos tiempo para captar las cualidades esenciales de un objeto viéndolo directamente que si se describe oralmente. Con los medios de enseñanza se aprovechan en mayor grado las potencialidades de nuestros órganos sensoriales. El 83% de lo que el hombre aprende le llega a través del sentido visual (Serra Toledo et al., 2009).

Estos hechos permiten considerar, que el holograma constituye una de las reproducciones visuales más icónica de las existentes, lo que lo hace idóneo para el proceso de aprendizaje ya que cumple con la función cognoscitiva al permitir captar las características del objeto original y poder reemplazarlo gracias a la generación de la imagen tridimensional. La función comunicativa se expresa, en el momento que el holograma produce una imagen tridimensional que transmite toda la información referente del objeto original, la función informativa se pone de manifiesto el momento en que el holograma es capaz de comunicar y transmitir toda la información del objeto original excepto en lo referente al tacto, la función motivadora se logra al tener una imagen tridimensional de un objeto real pero al mismo tiempo no existente físicamente ante los ojos del observador, esto crea una expectativa sobre la persona de cómo se genera esta imagen, crea una motivación por aprender cómo lograr este efecto con otros objetos y como duplicar otros elementos. Este efecto motivador es de gran importancia para despertar el interés del estudiante y de otras personas que observan un holograma, finalmente la función integradora es clave en el holograma ya que permite integrar varias técnicas y tecnologías para lograr los mejores resultados el momento de presentar al observador el resultado final (Pérez-Borges, 2011)(Serra Toledo et. al., 2009).

En la ESPOCH, se encuentra en proceso el trabajo con hologramas caseros, por el momento, creando aplicaciones pequeñas que se visualizan con dispositivos móviles, ver Figura 1.

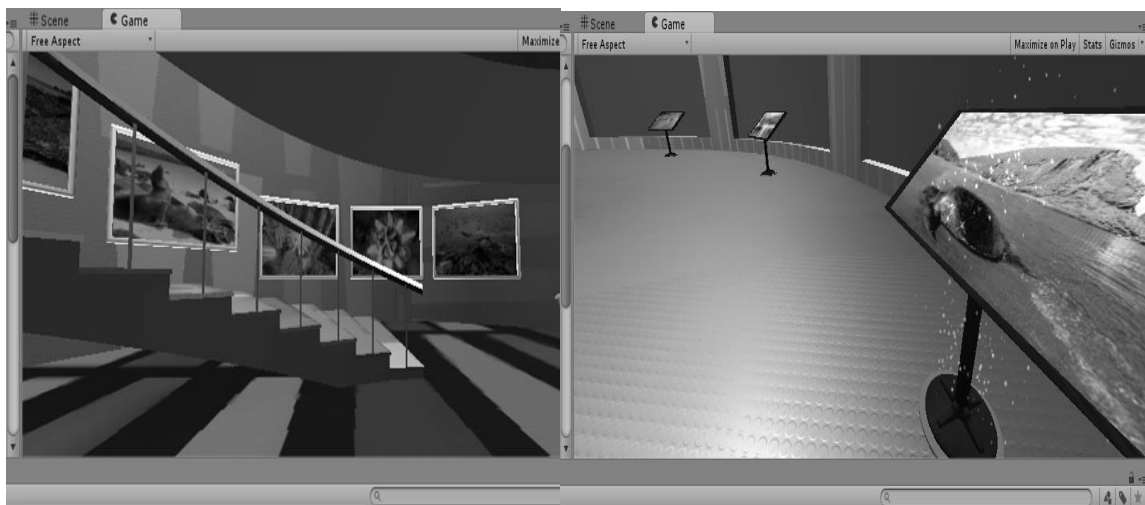


**Figura 1.**

Holograma casero

**Fuente:** <http://www.bloggap.com.br/2015/12/canal-no-youtube-como-fazer-holograma.html>

Además, se están diseñando y creando ambientes virtuales en Unity 3D, por las características multiplataforma que ofrece este potente software, ver Figura 2.



**Figura 2.**

Entorno virtual.

**Fuente:** Vaca-Cárdenas Leticia. Ph.D. Thesis, 2016

### **Conclusiones**

Todo aquello que hace poco, era parte de lo que se consideraba ciencia ficción, en la actualidad con el desarrollo tecnológico es cada vez más real y cercano. Sin embargo, el uso de toda esta potencialidad de la era de la comunicación está siendo poco o nada utilizada en los ambientes educativos reales. Varias investigaciones científicas, nos demuestran que la oportunidad de estar presentes en lugares no físicos a través de la creación de los mundos virtuales, ofrece un campo amplio educativo que necesita ser explorado y vitalizado por un conjunto multidisciplinario de especialistas. La ESPOCH consciente de este reto educativo, está fomentando la investigación y la introducción de nuevos elementos innovadores y a la vez modernos y atractivos para mejorar la educación, que de solución a los problemas de la sociedad moderna. Para lo cual es muy importante, la investigación y desarrollo de material educativo 3D que pueda ser difundido en diferentes medios tomando en cuenta que el 83% de lo que el hombre aprende, llega a través del sentido visual, por tanto, la holografía representa una oportunidad para educar.

### **Agradecimiento**

Un reconocimiento especial a la Facultad de Informática y Electrónica, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y de manera especial al Grupo de Investigación “Modelado, Simulación y Animación 3D” MSA 3D, por el trabajo colaborativo que realiza.

### **Referencias**

- Adictivox. (2011). *Digitalizando ideas*. Retrieved from <http://adictivox.com/2011/07/creando-proyecciones-3d/>
- Adu, E. O., & Galloway, G. (2015). *Information and Communication Technologies ( ICT ) and Teacher Education Preparation in South Africa : Implications for 21 st Century Classroom-based Practice*, 6(2), pp.242-247.
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), pp. 2787-2805.



- Azuma, R. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence, Massachusetts Institute of Technology*, 6(4), pp.355-385.
- Bai, Y., Mo, D., Zhang, L., Boswell, M., & Rozelle, S. (2016). The Impact of Integrating ICT with Teaching: Evidence from a Randomized Controlled Trial in Rural Schools in China. *Computers & Education*. <http://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.005>
- Bertacchini, F., Bilotta, E., Carini, M., Gabriele, L., Pantano, P., & Tavernise, A. (2012). Learning in the Smart City: A Virtual and Augmented Museum Devoted to Chaos Theory. In *International Conference on Web-Based Learning*, pp. 261–270. Springer Berlin Heidelberg. [http://doi.org/10.1007/978-3-662-43454-3\\_27](http://doi.org/10.1007/978-3-662-43454-3_27)
- Boulos, M., & Hetherington, L. (2007). Second Life: an overview of the potential of 3-D virtual worlds in medical and health education. *Health Information & e*. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1471-1842.2007.00733.x/full>
- Duță, N., & Martínez-Rivera, O. (2015). Between Theory and Practice: The Importance of ICT in Higher Education as a Tool for Collaborative Learning. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 180(November 2014), pp. 1466–1473. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.02.294>
- Forcheri, P., & Molfino, M. T. (2000). *ICT as a tool for learning to learn*.
- Hern, J. B. (2004). *Debate e investigación. Nuevos lenguajes para la difusión del patrimonio cultural. Proceedings of the 60th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, (1989), pp.95-101. <http://doi.org/10.3145/epi.2014.sep.02>
- Hew, K. F., & Cheung, W. S. (2010). Use of three-dimensional (3-D) immersive virtual worlds in K-12 and higher education settings: A review of the research. *British Journal of Educational Technology*, 41(1), pp. 33-55. <http://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2008.00900.x>
- Hirshman, E. (2016). Technology: Reshaping Economy and Educational Goals. *Educause Review*, 2(January/February), pp. 8-9.
- Hubackova, S., & Klimova, B. F. (2014). Integration of ICT in Lifelong Education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 116, pp.3593–3597. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.808>
- Khanacademy (2017). *Qué son las figuras 3D?* Retrieved from <https://es.khanacademy.org/computing/computer-programming/programming-games-visualizations/programming-3d-shapes/a/what-are-3d-shapes>
- López, F. (2007). *La Infografía 3D como sistema de documentación y divulgación*. Primer Simposio de la investigación y difusión arqueopaleontológica en el marco de la iniciativa privada: Madrid, Guadalajara 24 Y 25 de Octubre de 2007 : Primer Simposio AUDEMA, pp.429–444.
- McHaney, R. (2011). *The new digital shoreline: How web 2.0 and millennials are revolutionizing higher education*. Herndon, USA: Stylus Publishing.

- McHaney, R., Warkentin, M., Sachs, D., Pope, M. B., & Ormond, D. (2015). Teaching Social Media in Business. *Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice*, 14, pp. 39–62.
- Melo Díaz, M. (2013). *Modelo y arquitectura para la difusión de video mediante hologramas (tele-inmersión) a través de una red de transporte*, I2. Instituto Politécnico Nacional. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15998525>
- Muyinteresante (2017). *Innovaciones*. Retrieved from <https://www.muyinteresante.es/innovacion/articulo/funcionamiento-historia-y-tipos-de-gafas-3d>
- Palfrey, J., & Gasser Urs. (2008). *Born digital (basic book)*. New York.
- Pérez-Borges, A. (2011). El holograma como fuente documental y recurso particular de información. *Revista Española de Documentación Científica*, 34(2), pp.253–265. <http://doi.org/10.3989/redc.2011.2.792>
- Prensky, M. (2001). Digital immigrants, digital natives. *On the Horizon* , 9(5), pp.1-6. <http://doi.org/10.1108/10748120110424816>
- Rabasco, F. P., Hus, V., García, S. R., Cruz, R., & García, S. R. (2015). *ICT in education of the 21st century Citizen . Similarities and differences between Spain and Slovenia*, pp. 22-30.
- Rikhye, R., Cook, S., & Berge, Z. L. (2009). Digital natives vs. digital immigrants: Myth or reality. *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning*, 6(2), pp. 3-10.
- Serra Toledo, R., Vega, G., Ferrat, A., Lunazzi, J., & Magalhaes, D. (2009). El holograma y su utilización como un medio de enseñanza de la física en ingeniería. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 31(1), p.1041. Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/Rolando\\_Serra\\_Toledo/publication/237608334\\_](https://www.researchgate.net/profile/Rolando_Serra_Toledo/publication/237608334_)
- Speackup. (2017). *Augmented and virtual reality in k-12 education: Current status and aspirations*. Retrieved from <http://www.tomorrow.org/speakup/speak-up-2016-augmented-and-virtual-reality-in-k1educationapril-2017.html>
- Titsworth, S., Mazer, J. P., Goodboy, A. K., Bolkan, S., & Myers, S. A. (2015). Two Meta-analyses Exploring the Relationship between Teacher Clarity and Student Learning. *Communication Education*, 4523(July), pp.1-34. <http://doi.org/10.1080/03634523.2015.1041998>
- Uskov, V., Pandey, A., Bakken, J. P., & Margapuri, V. S. (2016). Smart engineering education: The ontology of Internet-of-Things applications. In *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* pp. 476–481. IEEE.
- Vaca Cárdenas, L. A., Bertacchini, F., Gabriele, L., Tavernise, A., Vizueta, D. E. O., Pantano, P., & Bilotta, E. (2015). Surfing virtual environment in the Galápagos Islands. In *Proceedings of 2015 12th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)* pp. 192-198. IEEE. <http://doi.org/10.1109/REV.2015.7087291>

- Vaca Cárdenas, L., Olmedo Vizueta, D. E., Tavernise, A., Gabriele, L., Bertacchini, F., Pantano, P., ... Bilotta, E. (2014). Darwin has come back to the Galápagos islands: an educational journey to discover biological evolution. In *EDULEARN14 Proceedings* pp. 6088–6095. International Association of Technology, Education and Development (IATED).
- Vaca-Cárdenas, L., Bertacchini, F., Tavernise, A., Gabriele, L., Valenti, A., Olmedo, D., ... Bilotta, E. (2015). Coding with Scratch: The design of an educational setting for Elementary pre-service teachers. In *Interactive Collaborative Learning (ICL), International Conference on IEEE*. pp. 1171-1177.. <http://doi.org/10.1109/ICL.2015.7318200>
- Vaca-Cárdenas, L., Tavernise, A., Bertacchini, F., Gabriele, L., Valenti, A., Pantano, P., & Bilotta, E. (2016). An educational coding laboratory for elementary pre-service teachers: A qualitative approach. *International Journal of Engineering Pedagogy*, 6(1), pp. 11-17.
- Vajargah, K., Jhani, S., & Azadmanesh, N. (2010). Application of ICTS in teaching and learning at university level: The case of Shahid Beheshti University. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 9(2), pp. 33-39.
- Valenti, M. (2015). Beyond active learning: Transformation of the learning space. *Educause Review*, 2.
- Yang, Y., & Yu, K. (2016). Construction of distance education classroom in architecture specialty based on internet of things technology. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 11(5), pp.56-61.

# Robot clasificador de metal con poder de discriminación de elementos no metálicos

Daniel Icaza Álvarez

Universidad Católica de Cuenca

dicaaaa@ucacue.edu.ec/ diaelectrico@hotmail.com

## Resumen

En la actualidad la automatización de equipos y herramientas en las industrias son muy favorables para mejorar la producción, siempre que sea posible presenciar los sistemas automatizados más avanzados y los que ayudan en las actividades de los trabajadores que clasifican los residuos, es por eso que el presente proyecto se centra en evitar los accidentes de recicladores y clasificadores de residuos (basura) en la ciudad de Cuenca, ya que se utiliza la ingeniería involucrada en el diseño y construcción del prototipo de un brazo robótico que como un efector final tiene un electroimán capaz de clasificar y atraer desechos de metales peligrosos que se mezclan con desechos ordinarios o plásticos y el sistema de control se basa en electrónica de potencia.

**Palabras clave:** Brazo robótico, Electrónica de potencia, Robot, Automatización, Clasificador de basura

## Abstract

At present the automation of equipment and tools in the industries are very favorable to improve the production, whenever it is possible to witness the most advanced automated systems and those that help in the activities of the people, the workers that classify the waste, for This is why the present project is focused on avoiding accidents of recyclers and waste classifiers (garbage) in the city of Cuenca, for it is used the engineering involved in the design and construction of the prototype of a robotic arm that As an end effector an electromagnet capable of classifying and attracting hazardous metal wastes that are mixed with ordinary or plastic wastes, and the control system is based on power electronics.

**Keywords:** Robotic arm, Power electronics, Robot, Automation, Garbage sorter.

## Introducción

La industria ha tenido cambios rotundos al pasar de los años, que se han visto desde los siglo XVIII y XIX con la denominada Revolución Industrial y la primera máquina a vapor, esto ha provocado la visión de fabricar productos de una manera diferente en la cual se hace un cambio rotundo y se da mayor énfasis al trabajo intelectual que al trabajo físico de los empleados para transformar la materia prima en un producto terminado, esto provocó que las fábricas produzcan mayor cantidad de productos y en menor tiempo (M. Ozuysal, V. Lepetit, & P. Fua., 2008) ( I. Laptev, 2009).

Sin embargo, al pasar de los años la industria sigue innovando descubriendo nuevas formas para obtener el producto terminado aún más eficiente, rápido y económico, donde la mano de obra humana cada vez sea de menor participación en dicha industria, es por eso que también se habla de una “Revolución Industrial”, una revolución que ha tenido auge con la conocida “Robótica”, en el cual se utiliza un aparato o robot que es capaz de realizar un determinado trabajo u operación de manera repetitiva (A. Barrientos, L. Peñin, C. Balaguer y R. Aracil, 2012, p. 437).

La constitución física de la mayor parte de estos manipuladores, guarda cierta similitud con la anatomía de las extremidades superiores del cuerpo humano, por lo que, en ocasiones, para hacer referencia a los distintos elementos que componen al robot, se usan términos como: cintura, hombro, brazo, codo, muñeca, etc. (E. Sánchez, L. Pérez, 2014).

## Metodología

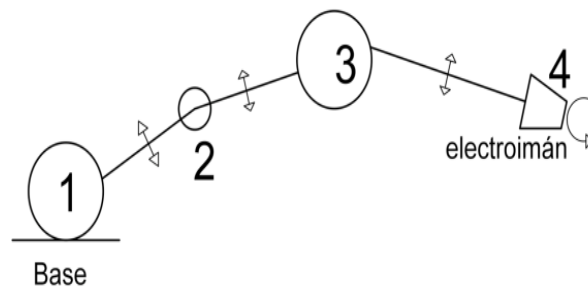
### Materiales y métodos

#### Materiales

- Cables.
- Motores paso a paso.
- Amarras.
- Cinta aislante.
- Sistema de Control.
- Eslabones

#### Métodos

El método que se utilizará para realizar este proyecto, será mediante la Electrónica de Potencia (tiristores y transistores) para coordinar el movimiento de los motores, los mismos que estarán ubicados en los ejes de cada eslabón del robot industrial, el efecto final de dicho robot será un electroimán que contará con un motor tipo rotatorio para su fin.

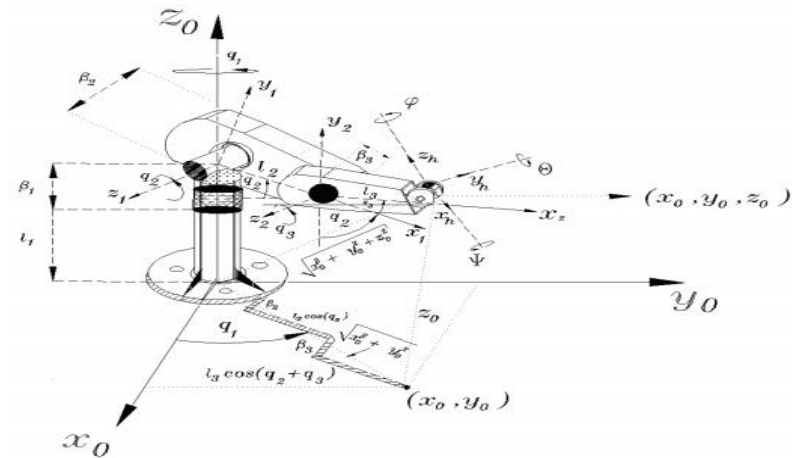


**Figura 1.**

Esquema de conexión del robot clasificador de metales

El robot que se ha diseñado y construido es tipo manipulador de secuencia fija, ya que realizará un ciclo de trabajo repetitivo y no será manipulado por ningún tipo de control, como se puede observar en la figura 1.

## Formulación



**Figura 2.**

Modelo del Robot clasificador de metales

La Tabla 1 contiene los parámetros Denavit-Hartenberg para el robot antropomórfico de tres grados de libertad.

**Tabla 1.**

Robot antropomórfico

Eslabón	$l_i$	$l_i$	$d_i$	$\theta_i$
1	0	$\frac{\pi}{2}$	$l_1 + \beta_1$	$q_1$
2	$l_2$	0	$\beta_2$	$q_2$
3	$l_3$	0	$\beta_3$	$q_3$

Los parámetros geométricos de cada servomotor son:  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  representan el ancho y espesor de las placas metálicas para la base, hombro y codo, respectivamente (Reyes C. Fernando, 2012, p. 288).

$l_1$  es la distancia que se encuentra la articulación de la base con respecto al origen del sistema fijo  $\Sigma_0(x_0, y_0, z_0)$ ;  $l_2$  y  $l_3$  son las longitudes de los eslabones del hombro y codo, respectivamente.

Las matrices de transformaciones homogéneas para la configuración antropomórfica adquieren la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 H_0^1 &= H_{R_{z_0}}(q_1)H_{T_{z_0}}(l_1 + \beta_1)H_{T_{x_0}}(0)H_{R_{x_0}}\left(\frac{\pi}{2}\right) \\
 &= \begin{bmatrix} \cos(q_1) & 0 & \text{sen}(q_1) & 0 \\ \text{sen}(q_1) & 0 & -\cos(q_1) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_1 + \beta_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 H_1^2 &= H_{R_{z_1}}(q_2)H_{T_{z_1}}(\beta_2)H_{T_{x_1}}(l_2)H_{R_{x_1}}(0) \\
 &= \begin{bmatrix} \cos(q_2) & -\text{sen}(q_2) & 0 & l_2 \cos(q_2) \\ \text{sen}(q_2) & \cos(q_2) & 0 & l_2 \text{sen}(q_2) \\ 0 & 0 & 1 & \beta_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 H_2^3 &= H_{R_{z_2}}(q_3)H_{T_{z_2}}(\beta_2)H_{T_{x_2}}(l_3)H_{R_{x_3}}(0) \\
 &= \begin{bmatrix} \cos(q_3) & -\text{sen}(q_3) & 0 & l_3 \cos(q_3) \\ \text{sen}(q_3) & \cos(q_3) & 0 & l_3 \text{sen}(q_3) \\ 0 & 0 & 1 & \beta_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, la matriz homogénea del robot antropomórfico de 3 gdl moviéndose en su espacio tridimensional es:

$$\begin{aligned}
 H_0^3 &= H_0^1 H_1^2 H_2^3 \\
 &= \begin{bmatrix} \cos(q_1)\cos(q_2 + q_3) & -\cos(q_1)\text{sen}(q_2 + q_3) & \text{sen}(q_1) \\ \text{sen}(q_1)\cos(q_2 + q_3) & -\text{sen}(q_1)\text{sen}(q_2 + q_3) & -\cos(q_1) \\ \text{sen}(q_2 + q_3) & \cos(q_2 + q_3) & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ [\beta_2 + \beta_3]\text{sen}(q_1) + \cos(q_1)[l_2 \cos(q_2) + l_3 \cos(q_2 + q_3)] \\ -[\beta_2 + \beta_3]\cos(q_1) + \text{sen}(q_1)[l_2 \cos(q_2) + l_3 \cos(q_2 + q_3)] \\ l_1 + \beta_1 + l_2 \text{sen}(q_2) + l_3 \text{sen}(q_2 + q_3) \\ 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

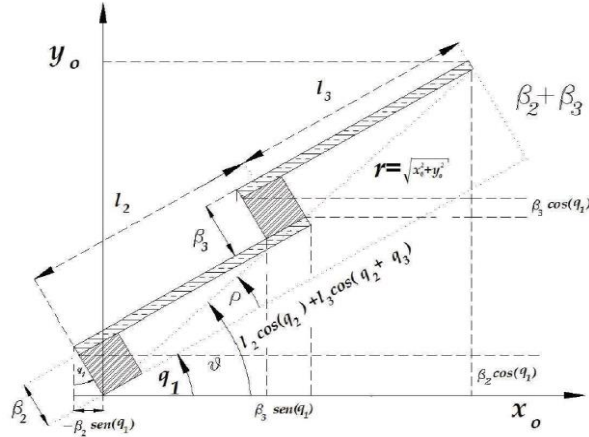
Las coordenadas cartesianas del extremo final del robot manipulador antropomórfico de 3 gdl, se encuentran relacionadas con las coordenadas articulares de la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [\beta_2 + \beta_3]\text{sen}(q_1) + \cos(q_1)[l_2 \cos(q_2) + l_3 \cos(q_2 + q_3)] \\ -[\beta_2 + \beta_3]\cos(q_1) + \text{sen}(q_1)[l_2 \cos(q_2) + l_3 \cos(q_2 + q_3)] \\ l_1 + \beta_1 + l_2 \text{sen}(q_2) + l_3 \text{sen}(q_2 + q_3) \end{bmatrix}$$

La cinemática inversa del robot antropomórfico de 3 gdl consiste en obtener las posiciones articulares en función de las coordenadas cartesianas de la ecuación.

Una forma para resolver dicho planteamiento es utilizar el método geométrico, con esta intención considere la proyección de los eslabones del hombro y del codo sobre el plano  $x_0 - y_0$ , dicha proyección se amplía en la figura, para llevar a cabo el análisis geométrico correspondiente a la variable  $q_1$ .

Observe que existe proyección geométrica sobre el plano  $x_0 - y_0$  de los parámetros  $\beta_2$  y  $\beta_3$  de los servomotores, debido a que los ejes  $z_1$  y  $z_2$  quedan paralelos a dicho plano, lo que no sucede para los casos del péndulo y robot de 2 gdl.



**Figura 3.**

Método geométrico de la cinemática inversa 3 gdl para obtener  $q_1$ .

De la *figura 3* tenemos que  $\vartheta = \varrho + q_1 \Rightarrow q_1 = \vartheta - \varrho$ . Observe que el ángulo  $\vartheta$  se obtiene en función de las coordenadas cartesianas  $(x_0, y_0)$  satisface  $\vartheta$  (Reyes C., Fernando, 2012).

Además, tomando en cuenta el triángulo con línea punteada, el ángulo  $\varrho$  queda en función del cateto opuesto (formado por el ancho de los servomotores  $\beta_2 + \beta_3$ ) y el cateto adyacente formado por la diferencia de la hipotenusa  $r = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$  y del cateto opuesto obtiene la siguiente forma:

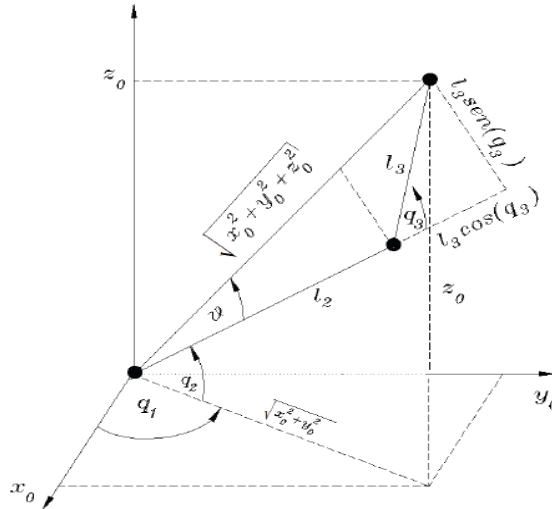
$$\rho = \text{atan}\left(\frac{\beta_2 + \beta_3}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2} - (\beta_2 + \beta_3)}\right) \quad \text{Ecuación (1)}$$

Por lo tanto, la variable articular  $q_1$  adquiere la siguiente estructura:

$$q_1 = \vartheta - \rho = \text{atan}\left(\frac{\beta_2 + \beta_3}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2} - (\beta_2 + \beta_3)}\right) \quad \text{Ecuación (2)}$$

Para obtener la variable articular  $q_3$  considérese como referencia el ángulo  $\vartheta$  del triángulo formado por el cateto adyacente  $l_2 + l_3 \cos(q_3)$ , cateto opuesto  $l_3 \sin(q_3)$  y por la hipotenusa. Es importante recalcar que los ángulos  $\vartheta$  y  $q_2$  se miden en dirección positiva con respecto al plano horizontal  $x_0 - y_0$  hacia el eje  $z_0$ .





**Figura 4.**

Método geométrico para obtener  $q_2$  y  $q_3$  de la cinemática inversa 3 gdl.

Empleando el teorema de Pitágoras se obtiene una posible solución para  $q_3$  en términos de la función arcotangente:

$$x_0^2 + y_0^2 + z_0^2 = [l_2 + l_3 \cos(q_3)]^2 + l_3^2 \text{sen}^2(q_3) \quad \text{Ecuación (4)}$$

$$= l_2^2 + l_3^2 [\cos^2(q_3) + \text{sen}^2(q_3)] + 2l_2 l_3 \cos(q_3)$$

$$= l_2^2 + l_3^2 + 2l_2 l_3 \cos(q_3) \quad \text{Ecuación (5)}$$

$$\cos(q_3) = \frac{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2 l_3} \quad \text{Ecuación (6)}$$

$$\text{sen}(q_3) = \sqrt{1 - \left[ \frac{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2 l_3} \right]^2} \quad \text{Ecuación (7)}$$

$$q_3 = \text{atan} \left( \frac{\sqrt{1 - \left[ \frac{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2 l_3} \right]^2}}{\frac{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2 l_3}} \right) \quad \text{Ecuación (8)}$$

En referencia a la figura 4, obsérvese que el triángulo formado por los lados y la hipotenusa, tomando en cuenta que la tangente de los ángulos  $\vartheta + q_2$  satisface:  $\tan(\vartheta + q_2)$ , además  $\tan(\vartheta) = l_3 \text{sen}(q_3) / [l_2 + l_3 \cos(q_3)]$ , usando identidades trigonométricas de la función tangente se obtiene la ecuación 9:

$$\tan(\vartheta + q_2) = \frac{\tan(q_2) + \tan(\vartheta)}{1 - \tan(q_2) \tan(\vartheta)} = \frac{z_0}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}} \quad \text{Ecuación (9)}$$

Realizando sencillos pasos algebraicos, para determinar la función tangente de  $q_2$ :

$$= \frac{[l_2 + l_3 \cos(q_3)]z_0 - l_3 \sin(q_3) \sqrt{x_0^2 + y_0^2}}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2} [l_2 + l_3 \cos(q_3)] + z_0 \sin(q_3)} \quad \text{Ecuación (10)}$$

Por lo tanto, la cinemática inversa que relaciona las coordenadas articulares  $q_1, q_2, q_3$  en función de las coordenadas cartesianas  $x_0, y_0, z_0$  del extremo final de un robot antropomórfico de 3 gdl que se mueve en su espacio tridimensional, considerando el espesor de los servomotores tiene la siguiente forma:

$$q_1 = \text{atan} \left( \frac{y_0}{x_0} \right) - \text{atan} \left( \frac{\beta_2 + \beta_3}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2 - (\beta_2 + \beta_3)^2}} \right) \quad \text{Ecuación (11)}$$

$$q_2 = \text{atan} \left( \frac{[l_2 + l_3 \cos(q_3)]z_0 - l_3 \sin(q_3) \sqrt{x_0^2 + y_0^2}}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2} [l_2 + l_3 \cos(q_3)] + z_0 l_3 \sin(q_3)} \right) \quad \text{Ecuación (12)}$$

$$q_3 = \text{atan} \left( \frac{\sqrt{(2l_2 l_3)^2 [x_0^2 + y_0^2 + z_0^2 - l_2^2 - l_3^2]^2}}{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2 - l_2^2 - l_3^2} \right) \quad \text{Ecuación (13)}$$

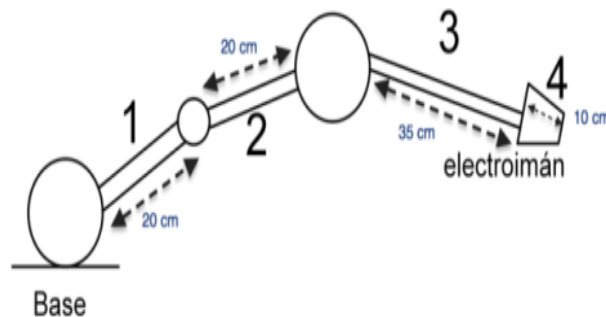
## Desarrollo y resultados

### Desarrollo

El brazo robótico fue diseñado con el fin de agilizar la clasificación de los desechos recolectados por los trabajadores en la ciudad de Cuenca, es por eso que este brazo robótico tiene como efecto final, un electroimán. De igual manera consta de 4 segmentos o articulaciones, las articulaciones se enlazan por medio de motores eléctricos.

### Articulaciones

El robot está constituido por tres eslabones y el efector final, los eslabones son de tipo rígidos el material que se utilizó es de aluminio con el cual se pretende tener un peso ligero. Las articulaciones son rotacionales, es decir permite realizar un solo movimiento de giro a la vez de cada articulación, el primer eslabón tiene una distancia de 20 cm igual al segundo, el tercero y último eslabón tiene una distancia de 35 cm y el efector final mide aproximadamente 10 cm como se puede observar en las figuras 5.



**Figura 5.**

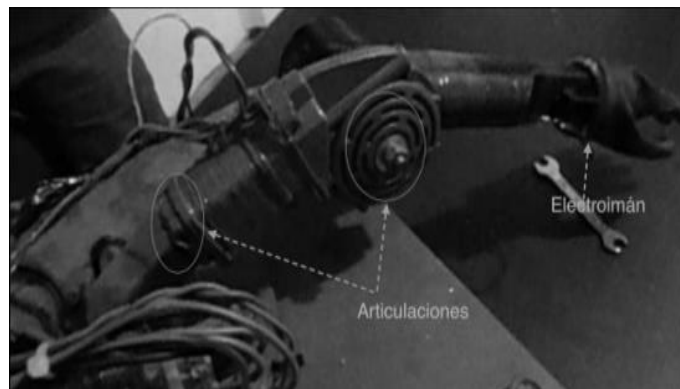
Número de eslabones con sus respectivas distancias de un brazo robótico.

### Actuadores

Para que los eslabones se muevan adecuadamente es necesario de los actuadores, para este proyecto se utilizaran motores de corriente continua con el fin de adquirir mayor velocidad, precisión y control.

### Elemento terminal

La finalidad de este proyecto es clasificar los desechos metálicos de los desechos comunes que se recolectan en la Ciudad de Cuenca y al encontrarse mezclados entre sí, tienden a ser peligrosos provocando cortaduras a las extremidades de los trabajadores. Para dar solución a dicho problema, se pretende utilizar un equipamiento final a la mano de este robot un electroimán de tal manera que al momento de energizar dicho electroimán, este atraiga el metal que se encuentra entre los desechos liberando a cualquier persona de posibles cortes con elementos cortopunsantes, agujas contaminadas, etc. Ver figura 6.



*Figura 6.*

Principales partes de un brazo robótico.

### Sistema de control

El sistema de control para este robot es mediante un circuito combinado de tiristores, transistores, diodos, entre otros es decir se utilizó únicamente la electrónica de potencia, que funcionan cada una de los elementos en un determinado tiempo programado, de tal manera que estén coordinados adecuadamente acorde al espacio a donde se quiera llegar con el efector final proporcional.



*Figura 7.*

Sistema de control de un brazo robótico

## Resultados

Luego de desarrollar el diseño y posteriormente armar el robot, se puede apreciar claramente el mismo ya terminado en la figura, un brazo robótico tipo industrial con un efector final de electroimán de 3 GDL, usado para la clasificación de desechos (basura) metálica de la ordinaria.

Para efectos de prueba en primeras instancias, se procederá a colocar únicamente una llave inglesa que es de metal y posteriormente pondremos a prueba el robot como lo evidencia la Figura 8.



*Figura 8.*

Pruebas de funcionamiento del prototipo

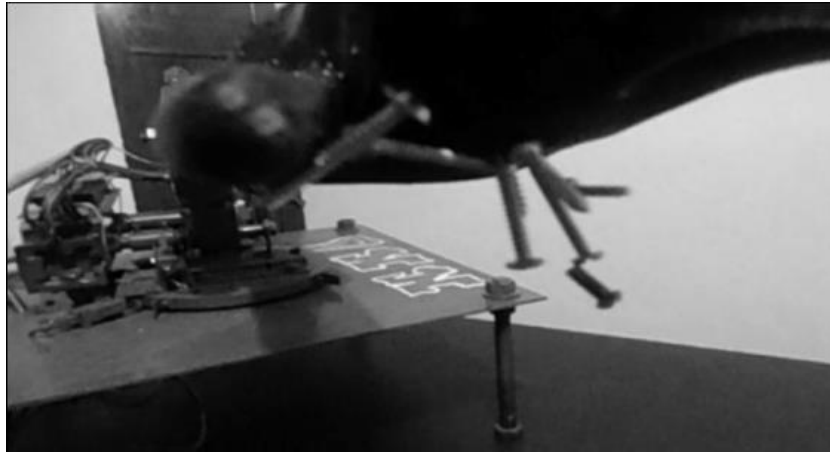
Luego de que el electroimán haya conseguido su fin último, automáticamente girará al sentido contrario con la finalidad de que los objetos tomados se transporten en la parte superior del electroimán para así evitar cualquier peligro por caída de objetos. De esa manera se transportará el objeto metálico para otro sitio y finalizando con la tarea del robot, como se puede observar en la figura 9.



*Figura 9.*

Prueba de resistencia y movilidad del prototipo

Con la finalidad de comprobar la potencia de funcionamiento del electroimán se procedió en esta ocasión realizar la prueba con varios tornillos metálicos diminutos y los resultados se pueden apreciar en la figura 10.



**Figura 10.**

Prueba de potencial del electroimán

En la figura se puede apreciar claramente como el brazo robótico cumple con lo establecido, siendo así capaz de levantar objetos metálicos y de igual manera transportarlos de un lugar a otro.

### **Conclusiones**

Luego de realizado el diseño, construcción y puesta en funcionamiento del prototipo se puede concluir que:

- Al ser un proyecto innovador y de fácil uso se puede implementar en gran escala para su uso en el reciclaje de desechos de la Empresa Pública EMAC EP en la Ciudad de Cuenca y evitar daños a la integridad de sus trabajadores.
- El electroimán tiene una gran capacidad para atraer objetos metálicos a pesar de que los mismos se encuentren mezclados entre otros desperdicios como plástico, papel, entre otros.
- La velocidad de los motores del brazo robótico es el adecuado y de esa manera concluyendo con la actividad programada sin que estos objetos se desprendan del efector final.
- Además de ser una herramienta muy útil económicamente es rentable ya que al no utilizar sistemas de control sofisticados con software y licencias en general minimiza los costos de construcción.
- El alcance de la mano a un recipiente para acumular el material férreo puede ser calibrable de acuerdo a las necesidades del lugar, inclusive el tamaño puede incrementarse al punto que de requerir mover o seleccionar material de mayor peso se lo puede realizar de manera proporcional y en función de la dinámica que se le desee incorporar.
- El robot está realizado a escala por lo que puede construirse con otras dimensiones y generar mejores resultados de acuerdo a las necesidades identificadas.

### **Referencias**

Barrientos, A., Peñin, L., Balaguer, C. y B. R. Aracil (2012). *Fundamentos de robótica*, p. 437.

Laptev, I. (2009) *Improving object detection using boosted histograms*. IVCJ.

Mikolajczyk, K., Leibe, B. and Schiele, B. (2006). *Multiple object class detection with a generative model*. In CVPR.

- Ozuysal, M., Lepetit, V. & Fua, P. (2008). *Pose estimation for category specific multiview object localization*. In CVPR
- Reyes C., Fernando (2012). *Matlab, aplicado a la robótica y mecatrónica*. México, México: Alfaomega, p. 288
- Rowley, H. A., Baluja, S. & Kanade, T. (1998). *Rotation invariant neural network-based face detection*. In CVPR
- Sánchez, E. Pérez, L. (2014). *Diseño del controlador y teleoperación del brazo robótico por medio de un dispositivo Android y PC*. Departamento de Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador
- Savarese, S. & Fei-Fei, L. (2007). *3d generic object categorization, localization and pose estimation*. In ICCV
- Zhu, Q., Avidan, S. Ye, M. & Cheng, K.T. (2006). *Fast human detection using a cascade of histograms of oriented gradients*. In CVPR.

# Evaluación de aplicaciones educativas para discapacidad intelectual utilizando MARS

**Andrés Larco**

Escuela Politécnica Nacional  
andres.larco@epn.edu.ec

**Vanessa Almendáriz**

Escuela Politécnica Nacional  
vanessa.almendariz@epn.edu.ec

**Sergio Luján-Mora**

Universidad de Alicante  
sergio.lujan@ua.es

## Resumen

El acceso a tecnología en la educación es esencial para el desarrollo de habilidades y destrezas, por lo que es necesario identificar y evaluar aplicaciones educativas que contribuyan a la mejora de su proceso de aprendizaje. El objetivo de este estudio fue clasificar, evaluar y calificar la calidad de aplicaciones educativas para síndrome de Down, parálisis cerebral y autismo. Se realizó una búsqueda sistemática de aplicaciones educativas tomando de referencia los sitios web, catálogos existentes, además se buscó en Google y en Google Play Ecuador. De 1392 aplicaciones buscadas, 43 cumplieron con los criterios de inclusión. Un grupo de evaluadores revisó y calificó la calidad de las 43 aplicaciones encontradas utilizando Mobile Apps Rating Scale (MARS); que tiene 23 ítems contenidos en subescalas como atractivo, funcionalidad, estética, calidad de la información y calidad subjetiva. La confiabilidad entre los evaluadores fue aceptable. En las evaluaciones realizadas con MARS se determinó que, la aplicación móvil con más alta calidad es Burbujo con 4,71/5. De las aplicaciones evaluadas (42/43, 98%) tenían puntuaciones MARS aceptables (>3,0). La funcionalidad menos común entre las 43 aplicaciones evaluadas fue poder personalizar la aplicación.

**Palabras claves:** Aplicación de escritorio, Aplicación web, Aplicación móvil, Síndrome de Down, Parálisis Cerebral, Autismo.

## Abstract

The access to technology in education is essential for the development of skills, in this way it is required to identify and evaluate educational applications that contribute to the improvement of learning process. The objective of this study was to classify, evaluate, and rate the quality of the educational applications for Down syndrome, cerebral palsy, autism and unspecified intellectual disability. A systematic search for educational applications was made taking reference from websites and existing catalogs. Also, a search was conducted using Google and Google Play Ecuador. Of 1392 applications found, only 43 met the inclusion criteria. A group of testers reviewed and evaluated the quality of 43 applications by using Mobile Apps Rating Scale (MARS), which offer 23 items classified in subscales such as engagement, functionality, aesthetics, information quality, and subjective quality. The reliability among the evaluators was acceptable. Through MARS evaluations, was found that the mobile application with the highest quality is Burbujo, which scored (4, 71/5). Almost all the apps (42/43, 98%) had acceptable MARS scores (>3, 0). The less common feature between the 43 apps was customization.

**Keywords:** Desktop app, Web app, Mobile app, Down syndrome, Cerebral palsy, Autism.

## Introducción

La sociedad actual se caracteriza por el uso generalizado de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). En el ámbito educativo, estas tecnologías han pasado a realizar las funciones propias de los medios didácticos tradicionales, en otros casos, son un complemento de los mismos (González, Raposo-Rivas, & Martínez-Figueira, 2015). El acceso a la tecnología en la educación es esencial para el desarrollo de habilidades, destrezas y brinda beneficios como la mejora de procesos educativos (Ecuador Digital, 2006). Por otra parte, las personas con discapacidad intelectual tienen dificultades para aprender de la manera tradicional (Center for Disease Control and Prevention, 2016).

En el Ecuador, según el Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS) existen un total de 95,248 personas registradas con algún tipo de discapacidad intelectual (CONADIS, 2017). De acuerdo a un estudio realizado previamente (Larco & Luján-Mora, 2016) con instituciones educativas que brindan sus servicios a personas con discapacidad intelectual, se determinó que no existe un catálogo digital de software para la búsqueda de programas utilizados para el aprendizaje de personas con discapacidad intelectual en el Ecuador. Cada institución o terapeuta busca a su criterio, el software que se ajusta a sus necesidades y se guía en el uso del mismo de manera independiente (Larco & Luján-Mora, 2016). Sin embargo, la búsqueda no es sencilla, en algunos casos hay que hacer cinco o más clic para acceder a los programas, no hay una categorización adecuada y generalmente lo que se presenta es una lista de programas (CIAPAT - Catálogo, 2017). Además, no se valida la calidad de las aplicaciones a ser utilizadas.

A nivel mundial, aún existe una cultura de exclusión tecnológica, por ejemplo, para personas con síndrome de Down (Lapeira, 2016). Es una labor complicada la inclusión, principalmente por la falta de recursos tecnológicos que permitan dicha inclusión (Federación Española de Síndrome de Down, 2012). Si bien existe una gran variedad de aplicaciones educativas, la mayoría fue concebida para personas que no tienen ningún tipo de discapacidad; esto hace que el número de aplicaciones para personas con discapacidad disminuya, además al tratarse en su mayoría de software no comercial se hace imprescindible evaluar la calidad de las aplicaciones de software existentes.

Para la validación de las aplicaciones educativas, se utilizará Mobile Apps Rating Scale (MARS) (Stoyanov et al., 2015), con el fin de determinar la calidad de las aplicaciones. MARS ha sido utilizada por varios trabajos previos en el ámbito de la salud (Masterson Creber et al., 2016; Schoeppe et al., 2017; Hartin et al., 2016).

Este artículo está organizado de la siguiente forma: La importancia del problema, la metodología que incluye la revisión contextual sistemática, evaluación de las aplicaciones y el análisis. Los resultados de la investigación, la discusión y por último, las conclusiones con las orientaciones para el trabajo futuro.

## Importancia del problema

En el Ecuador en la última década se le dio gran importancia al tema de la discapacidad en general y se creó un programa gubernamental para dicho fin; sin embargo, creemos necesario que las personas que intervienen en procesos de enseñanza aprendizaje de personas con discapacidad intelectual, terapeutas, padres de familia, tutores, etc. Las mismas que deben contar con aplicaciones de calidad para que estas sean un real apoyo y complemento para que las personas con discapacidad intelectual mejoren sus competencias de vida.



## **Metodología**

### **Revisión Sistemática**

La búsqueda sistemática de aplicaciones, se realizó tomando de referencia los sitios web y catálogos existentes que brindan aplicaciones educativas dirigidas a personas con discapacidad intelectual (Larco, Vanessa Almendáriz & Sergio Luján-Mora, 2017), se llevó a cabo en mayo de 2017 siguiendo la directrices de (Prisma, 2017).

Para la búsqueda se utilizó el buscador de Google y de Google Play Ecuador. Las búsquedas se llevaron a cabo, con los términos “aplicaciones síndrome Down”, “aplicaciones parálisis cerebral”, “aplicaciones autismo”. De forma predeterminada, Google devuelve un gran número de resultados. Por lo tanto, fue necesario realizar un análisis exacto y minucioso de cada página de resultados, para cada uno de los términos de búsqueda, esto se hizo antes de preseleccionar y descargar las aplicaciones significativas. Inicialmente, se revisaron los títulos de las aplicaciones, además, se examinaron las descripciones de las aplicaciones.

Las aplicaciones elegidas cumplieron los siguientes criterios: lenguaje en español, síndrome de Down, parálisis cerebral, autismo y discapacidad intelectual en general; las aplicaciones podían ser de escritorio, web o móviles. Además, las aplicaciones relacionadas con educación o aprendizaje, también se incluyó las aplicaciones que ayudan a la comunicación y finalmente que las aplicaciones sean gratuitas.

Se excluyeron las aplicaciones si estaban duplicadas, que no estaban en español y eran de pago. Las aplicaciones restantes se descargaron y exploraron. Las 43 aplicaciones seleccionadas incluían información acerca de las competencias para la vida (Wikinclusión, 2017).

### **Evaluación de las aplicaciones**

Para evaluar las aplicaciones se utilizó MARS (Stoyanov et al., 2015), que es la primera herramienta de evaluación de la calidad para aplicaciones de salud, la cual proporciona una lista de verificación que permite evaluar la calidad de aplicaciones. Esta herramienta es aplicable para la evaluación de aplicaciones en general.

MARS contiene 23 ítems clasificados en una escala de 5 puntos (1 = inadecuado, 2 = pobre, 3 = aceptable, 4 = bueno y 5 = excelente) o no aplicable, los cuales están divididos en 5 subescalas: atractivo, funcionalidad, estética, calidad de la información y calidad subjetiva. Las aplicaciones de escritorio fueron evaluadas en una computadora personal Dell Optiplex 9010 con sistema operativo Windows 7, las aplicaciones web fueron evaluadas en una computadora portátil Dell Inspiron 13-7352 con sistema operativo Windows 10 y un navegador Google Chrome 59.0.3070 115 (64-bits), y las aplicaciones de Android fueron evaluadas en un Asus ZenFone 2 (Android 5.0). Las aplicaciones fueron calificadas por evaluadores distintos y cada evaluador estaba a cargo en promedio de dos aplicaciones, para con esto aumentar la confiabilidad de los resultados. Se utilizaron tres plantillas: la primera es una hoja de Excel en la cual se adaptó al español las 5 subescalas y los 23 ítems de MARS, la segunda una plantilla de Excel en la cual se condensaron todas las evaluaciones de cada una de las aplicaciones y la tercera plantilla en Word en la cual se realizó un reporte detallado de cada aplicación con su respectiva justificación.

Todos los evaluadores tuvieron un entrenamiento en MARS, como sugiere Stoyanov et al. (2015) y se siguió los pasos presentados en el tutorial de formación de YouTube (Stoyan Stoyanov, 2016). Para abordar temas específicos de las aplicaciones educativas para síndrome de Down, parálisis cerebral y autismo se realizaron dos sesiones informativas de 1 hora a todos los evaluadores, antes de la evaluación de cada aplicación. Para la

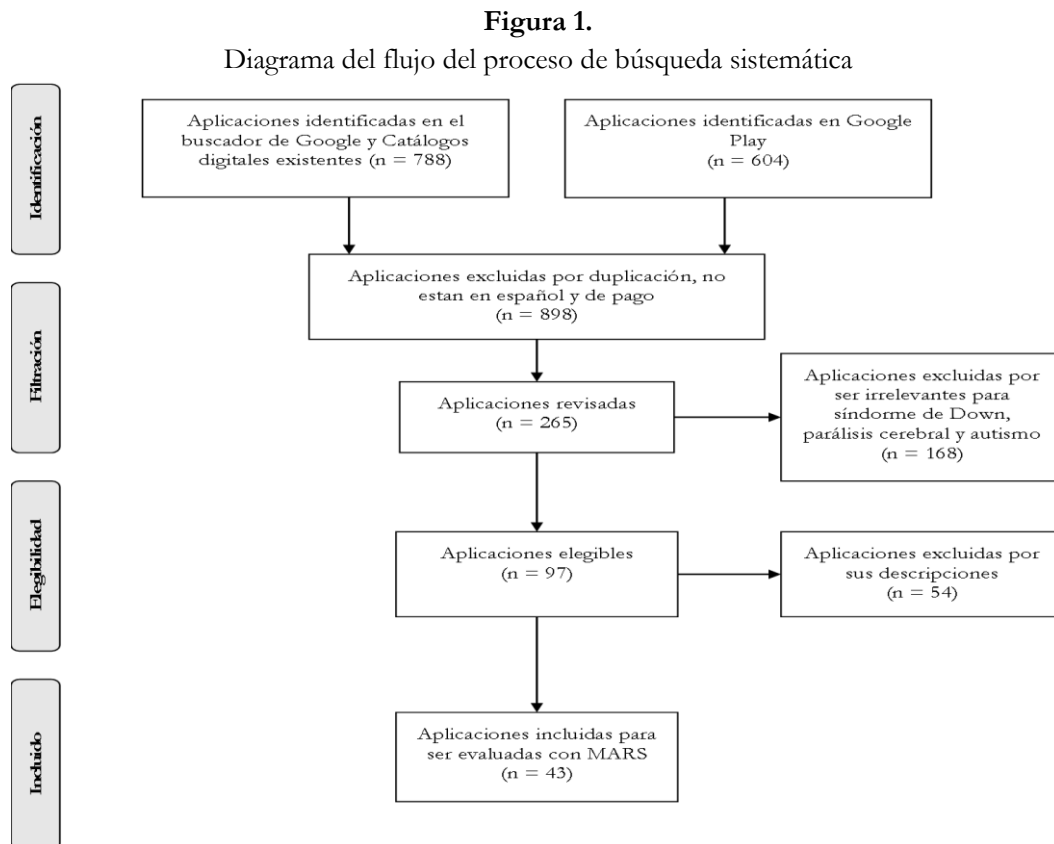
subescala de calidad de la información, los evaluadores realizaron una búsqueda exhaustiva de información de cada aplicación.

### Análisis

Se clasificaron, revisaron y evaluaron 43 aplicaciones. MARS analiza la consistencia interna y la confiabilidad interevaluador. La consistencia interna de las subescalas de MARS y el puntaje total de calidad se calculó usando el alfa de Cronbach ( $\alpha$ ) (Oviedo & Arias, 2005). Este indica el grado (correlaciones) (Escalante, Crisóforo, León Balderrama, & Preciado Rodríguez, 2016) en el que los ítems que miden la misma construcción general producen puntuaciones similares. La confiabilidad inter evaluador de las subescalas de MARS y la puntuación total, se determinó por el Coeficiente de Correlación Intraclass (ICC). Esta estadística permite el cálculo apropiado de los valores ponderados de la concordancia entre calificaciones y explica la proximidad, en lugar de la igualdad de calificaciones.

### Resultados

Se identificaron un total de 1392 aplicaciones, de la investigación realizada en el buscador de Google, en catálogos digitales existentes y la tienda de Google Play Ecuador. Se eliminaron todas las aplicaciones duplicadas, que no estaban en español y eran de pago. También se excluyeron aplicaciones con contenido irrelevante para síndrome de Down, parálisis cerebral, autismo y general. Las 97 aplicaciones elegibles se seleccionaron por título, sin embargo, se revisó las descripciones de las mismas antes de la exclusión final, con lo cual se seleccionó 43 para calificar con MARS, como se muestra en la Figura 1.



Fuente: Autores

El cálculo de las puntuaciones medias de las subescalas atractivo, funcionalidad, estética, información y subjetiva, es cómo se califica la calidad total, la cual se muestra en la Tabla.

**Tabla 1.**  
Puntuación de la calidad de las Aplicaciones

No.	Nombre	Atractivo	Funcionalidad	Estética	Información	Subjetiva
1	Down 21 Material didáctico	3,20	4,00	4,00	4,00	4,50
2	Las Aventuras de Spoti	3,00	5,00	4,33	3,57	3,50
3	IntAR21	4,00	3,75	4,33	3,29	3,50
4	SuperApp	3,60	4,50	4,67	4,29	4,50
5	TuliEmociones	2,60	4,25	3,67	3,00	4,00
6	EmoPlay	2,40	3,50	3,33	3,14	3,25
7	JoseAprende Móvil	2,80	3,50	2,67	2,71	2,50
8	José aprende Web	3,00	4,50	3,67	3,71	3,25
9	Doctor TEA	4,00	5,00	4,67	4,86	0,00
10	Sígueme Móvil	5,00	4,75	3,33	4,86	4,50
11	Sígueme Escritorio	4,60	4,50	4,67	4,86	5,00
12	INTIC Escritorio	4,60	3,00	3,00	3,71	4,00
13	INTIC Móvil	4,00	4,50	3,33	4,29	4,00
14	Agenda INTIC	4,00	4,00	4,00	4,43	4,50
15	Hablando con el arte	3,40	2,75	2,33	3,00	2,75
16	El viaje de elisa Móvil	3,80	4,50	4,67	4,14	4,50
17	El viaje de Elisa Web	4,60	4,00	5,00	4,86	4,25
18	Día a Día	4,00	4,25	4,67	4,14	4,50
19	E-Mintza	4,60	4,25	4,00	3,71	4,50
20	La calle de Renata	3,40	5,00	4,33	3,29	4,50
21	Plaphoons	3,8	4,25	3,33	3,83	4,00
22	Learny PCI	3,80	4,50	3,67	3,57	4,7
23	Dibugrama	2,80	4,25	4,67	3,71	3,00
24	El toque mágico	3,00	4,25	4,33	3,14	4,25
25	Pequen Lee Todo	3,80	3,00	2,33	2,86	3,50
26	El juego de los opuestos	3,60	4,75	5,00	4,57	4,50
27	Jugando con las vocales	3,20	4,50	4,67	3,57	3,75
28	Grupolandia	2,60	5,00	4,33	4,43	4,00
29	Opuestolandia	2,40	4,50	4,00	3,43	3,75
30	Siluetas OA	3,60	5,00	4,00	4,57	5,00
31	Números en acción	2,80	4,25	3,67	2,14	3,25
32	Jugamos Todos	2,40	3,50	3,33	4,00	3,50
33	AbaPlanet Lite	4,40	4,50	4,67	4,29	4,50
34	Puzzingo	3,80	4,50	5,00	4,29	4,25
35	Desafios mas y menos	2,80	4,75	3,67	3,71	3,50
36	ParejasdeMascotas	2,80	4,50	4,00	3,00	4,25
37	Tarjetas educativas en español	3,40	5,00	4,67	3,71	4,78
38	Pictosonidos	4,20	5,00	5,00	4,00	4,50
39	Burbujo	4,40	5,00	5,00	4,43	4,25
40	Sonigrama	3,00	4,75	3,67	4,00	4,25
41	AraBoard	3,60	4,00	3,33	4,14	4,25
42	TICO	4,60	3,25	4,00	3,85	4,00
43	AraWord	3,60	4,00	4,00	3,86	4,5

Fuente: Autores

Las evaluaciones de las 43 aplicaciones, realizadas con MARS demostraron un nivel aceptable de confiabilidad entre los examinadores, al tener un alfa de Cronbach entre 0,60 y 0,74, excluyendo calidad subjetiva, la tabla 2 muestra los resultados estadísticos.

**Tabla 2.**

Evaluación estadística de las 43 aplicaciones utilizando los 23 ítems de MARS

N°	Subescala/Elemento	Correlación total de elementos corregida	Medida	Desviación estándar
<b>Atractivo alfa= 0,67, CCI = 0,71 (95% CI 0,48 – 0,80)</b>				
1	Entrenamiento	0,35	4,07	0,74
2	Interés	0,55	3,95	0,79
3	Personalización	0,53	2,51	1,53
4	Interactividad	0,43	2,63	1,31
5	Grupo objetivo	0,40	4,40	0,69
<b>Funcionalidad alfa = 0,67, CCI = 0,66 (95% CI 0,46-8,80)</b>				
6	Rendimiento	0,44	4,23	0,87
7	Facilidad de uso	0,44	4,49	0,74
8	Navegación	0,50	4,33	0,84
9	Diseño gestual	0,39	4,47	0,70
<b>Estética alfa= 0,74, CCI = 0,73 (95% CI 0,56-0,87)</b>				
10	Diseño	0,43	4,37	0,76
11	Gráficos	0,56	3,91	0,89
12	Atractivos visual	0,70	3,91	0,95
<b>Información alfa = 0,63, CCI = 0,60 (95% CI 0,42-0,77)</b>				
13	Exactitud descripción	0,26	4,21	0,86
14	Objetivos	0,46	3,53	1,37
15	Calidad de la información	0,52	3,63	1,33
16	Cantidad de la información	0,51	3,47	1,26
17	Información visual	0,03	4,19	0,82
18	Credibilidad	0,23	4,09	1,04
19	Evidencias de uso	0,29	3,58	1,20
<b>Calidad subjetivo alfa =0,58, CCI= 0,62 (95% CI 0,33-0,75)</b>				
20	Recomendación aplicación	0,53	4,23	0,78
21	Veces de uso aplicación	0,40	3,95	0,90
22	Grado de dificultad instalación	0,12	4,44	1,03
23	Calificación aplicación	0,50	3,79	0,74

Fuente: Autores

De las 43 aplicaciones evaluadas, 9 son para síndrome de Down, 9 para parálisis cerebral. Autismo tiene el mayor número de aplicaciones que son 16 y finalmente 9 están en la categoría general la cual podía servir para cualquiera de las tres discapacidades. Por plataforma, las aplicaciones evaluadas se clasificaron de la siguiente manera: 10 para escritorio, 10 para web, y 23 para móviles que usan Android. Además, se determinó que 13 de las 43 aplicaciones necesitan internet para su funcionamiento.

## Discusión

Según la puntuación media, la aplicación con más alta calidad es Burbujo con 4,71/ 5, cabe recalcar que en la clasificación de estrellas tiene 4, es una aplicación móvil y no necesita internet para su funcionamiento. La aplicación de escritorio Sígueme tiene una puntuación de 4,66/5, la cual la hace la mejor en su categoría por la estética y en especial por la calidad de la información presentada. Y finalmente la aplicación web Doctor TEA tiene una puntuación de 4,63/5, sobre todo por su funcionalidad y calidad de la información. Solo una aplicación tiene menos de 3 en la calidad total sobre todo por la calidad subjetiva.

La calidad subjetiva no se la toma encuentra en el cálculo de la Calidad Total de la Tabla 1, se puede observar que la calidad subjetiva tiene un alfa de Cronbach de 0,58 en la Tabla 2, lo cual se dice es pobre y no confiable, por estos motivos y tomando en cuenta la recomendación de los autores de MARS no se considera la calidad subjetiva.

La subescala atractivo, tiene un CCI = 0,71 (95% CI 0,48 – 0,80) lo cual nos indica que su confiabilidad es aceptable, el ítem con mayor correlación es Interés con 0,55, el cual ayuda a identificar de mejor forma la característica de dicha escala. La subescala funcionalidad tiene un CCI = 0,66 (95% CI 0,46 – 0,80) lo cual nos indica que su confiabilidad es aceptable, el ítem con mayor correlación es Navegación con 0,50, el cual ayuda a identificar de mejor forma la característica de dicha escala. La subescala estética tiene un CCI = 0,73 (95% CI 0,56 – 0,87) lo cual nos indica que su confiabilidad es aceptable, el ítem con mayor correlación es Atractivo visual con 0,70, el cual ayuda a identificar de mejor forma la característica de dicha escala. La subescala información tiene un CCI = 0,60 (95% CI 0,42 – 0,77) lo cual nos indica que su confiabilidad es aceptable, el ítem con mayor correlación es Calidad de información con 0,52, el cual ayuda a identificar de mejor forma la característica de dicha escala.

Autismo fue discapacidad que presentó más número de aplicaciones 16/43, de las cuales 7/16 son aplicaciones móviles que tienen en MARS evaluaciones entre 2,92 y 4,40 y en el ranking de estrellas evaluaciones entre 3 y 5. Las 23 aplicaciones móviles de la presente evaluación, tienen una correlación positiva de 0,44 entre la evaluación realizada con MARS y el ranking de estrellas de Google Play.

El síndrome de Down, fue la discapacidad que presentó aplicaciones con mejor información incluso una de ellas presentaba todo un libro interactivo que permitía entender las características de las personas con esta discapacidad, de igual manera algunas aplicaciones presentaban instrucciones precisas de cómo utilizar la aplicación.

## Conclusiones

El presente trabajo de evaluación de aplicaciones educativas utilizando MARS, es el primero para medir la calidad de las aplicaciones no relacionadas con la salud. Se utilizó MARS por ser una herramienta simple, objetiva y adaptable para evaluar aplicaciones educativas móviles, sin embargo, faltan adaptaciones para mejorar la evaluación para plataformas de escritorio y web.

La funcionalidad menos común entre las 43 aplicaciones examinadas con MARS, era poder personalizar la aplicación, la gran mayoría ejecutaba una y otra vez la misma secuencia con las mismas instrucciones y pasos, solo en pocos casos las aplicaciones tenían varios niveles de complejidad, en algunos casos la información era deficiente.

Es imprescindible que los evaluadores de las aplicaciones completen una capacitación en MARS antes de comenzar el uso, al mismo tiempo se realizó una charla a todo el grupo de evaluadores sobre las aplicaciones educativas a ser evaluadas y las discapacidades intelectuales consideradas para este trabajo. Además, se indicó a los evaluadores que realicen una exploración detallada del contenido y las funcionalidades de la aplicación asignada.

Al ser 23 aplicaciones para móviles del conjunto evaluado se puede decir que es la tendencia para el futuro de las mismas. Sin embargo, no hay que perder de vista a las aplicaciones de escritorio como por ejemplo Sigueme de la Fundación Orange que tiene una puntuación de 4,66/5 lo cual nos quiere decir que también se necesitan este tipo de aplicaciones en medios en los cuales no existe un buen servicio de internet. Es necesaria una investigación futura para adaptar MARS a plataformas de escritorio y web. Es probable que se requieran refinamientos futuros de la terminología MARS para el ámbito educativo.

### Agradecimiento

Un especial agradecimiento a los estudiantes de la materia de Calidad de Software del Grupo 1 del semestre 2017, de la Facultad de Ingeniería de Sistemas de la Escuela Politécnica Nacional, por haber participado como testers de las aplicaciones educativas para discapacidad intelectual.

### Referencias

- Center for Disease Control and Prevention (2016). *Facts about intellectual disability*. Recuperado de [http://www.cdc.gov/ncbddd/actearly/pdf/parents\\_pdfs/IntellectualDisability.pdf](http://www.cdc.gov/ncbddd/actearly/pdf/parents_pdfs/IntellectualDisability.pdf)
- Centro Iberoamericano de Autonomía Personal y Ayudas Técnicas (2017) CIAPAT. Recuperado de <http://ciapat.org/es/catalogo>
- Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (2017). *Estadísticas / CONADIS*. Recuperado de <http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadistica/index.html>
- Escalante, C., Crisóforo, J., León Balderrama, J. I., & Preciado Rodríguez, J. M. (2016). *Capacidad de absorción y competitividad. El caso de la acuicultura de camarón en la región norte de Sinaloa*. Recuperado de <http://ru.iiiec.unam.mx/3414/>
- Federación Española de Síndrome de Down (2012). *Guía práctica de aprendizaje digital De lectoescritura mediante tablet para alumnos con síndrome de Down*. Down España. Recuperado de [www.sindromedown.net/wp-content/uploads/2014/09/105L\\_guiahz.pdf](http://www.sindromedown.net/wp-content/uploads/2014/09/105L_guiahz.pdf)
- González, M. P., Raposo-Rivas, M., & Martínez-Figueira, M. E. (2015). Las TIC en la educación de las personas con Síndrome de Down: un estudio bibliométrico. *Virtualidad, Educación y Ciencia*, 6(11), pp.20–39.
- Hartin, P. J., Cleland, I., Nugent, C. D., McClean, S. I., Tschanz, J., Clark, C., & Norton, M. C. (2016). Assessing app quality through expert peer review: A case study from the gray matters study. En *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2016 IEEE 38th Annual International Conference of the*

IEEE pp. 4379–4382.. Recuperado de <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7591697/>

Lapeira, C. P. (2016). Las nuevas tecnologías de aprendizaje y su participación en la exclusión social. *Cooperativismo & Desarrollo*, 23(107). Recuperado de <http://66.33.207.99/index.php/co/article/view/1254>

Larco, A., & Luján-Mora, S. (2016). *Preliminary analysis of educational software for people with moderate intellectual disabilities*. Barcelona, España: IATED Academy.

Larco, A., Vanessa Almendáriz, & Sergio Luján-Mora. (2017). Towards an analysis of existing software for intellectual disabilities. En *Inclusión, discapacidad y educación Enfoque práctico desde las Tecnologías Emergentes*. Editorial Universitaria Abya-Yala.

Masterson Creber, R. M., Maurer, M. S., Reading, M., Hiraldo, G., Hickey, K. T., & Iribarren, S. (2016). Review and Analysis of Existing Mobile Phone Apps to Support Heart Failure Symptom Monitoring and Self-Care Management Using the Mobile Application Rating Scale (MARS). *JMIR MHealth and UHealth*, 4(2), e74. Retrieved from <https://doi.org/10.2196/mhealth.5882>

Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (2006). Ecuador digital: Sinergia entre educación y tecnología. Recuperado de <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/ecuador-digital-sinergia-entre-educacion-y-tecnologia-2/>

Oviedo, H. C., & Arias, A. C. (2005). Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 34(4), pp. 572–580.

Prisma. (2017). *Prisma*. Recuperado de <http://www.prisma-statement.org/PRISMAStatement/Default.aspx>

Schoeppe, S., Alley, S., Rebar, A. L., Hayman, M., Bray, N. A., Van Lippevelde, W., Vandelanotte, C. (2017). Apps to improve diet, physical activity and sedentary behavior in children and adolescents: a review of quality, features and behavior change techniques. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 14(1). Retrieved from <https://doi.org/10.1186/s12966-017-0538-3>

Stoyanov, S.R. (2016). *MARS training video*. Recuperado a partir de <https://www.youtube.com/watch?v=25vBwJQIOcE>

Stoyanov, S. R., Hides, L., Kavanagh, D. J., Zelenko, O., Tjondronegoro, D., & Mani, M. (2015). Mobile App Rating Scale: A New Tool for Assessing the Quality of Health Mobile Apps. *JMIR M Health and UHealth*, 3(1), e27. Retrieved from <https://doi.org/10.2196/mhealth.3422>

Wikinclusion (2017). *Discapacidad intelectual*. Recuperado de [http://wikinclusion.org/index.php/Categor%C3%ADaDiscapacidad\\_intelectual](http://wikinclusion.org/index.php/Categor%C3%ADaDiscapacidad_intelectual)

# Redes neuronales artificiales para estimación de costos de construcción industrial

**Lida Mercedes Barba Maggi**

Universidad Nacional de Chimborazo

lbarba@unach.edu.ec

**Elba María Boderó Poveda**

Universidad Nacional de Chimborazo

eboderó@unach.edu.ec

## Resumen

Siendo la estimación de costos un proceso vital en la planificación de la producción industrial, es importante garantizar la mayor exactitud. El ciclo de vida de un producto parte con la estimación del costo; información que es útil para lograr establecer los elementos de diseño, su viabilidad y márgenes de utilidad. Dado que los diseñadores son propensos a cometer errores y en la búsqueda de modelos que representen al fenómeno estudiado, se ha demostrado que la modelación de problemas no lineales, basada en Redes Neuronales Artificiales (ANNs) provee aproximaciones con bajo margen de error. En consecuencia, en este artículo es mostrada la implementación de una Red Neuronal Recurrente (RNN) para lograr mejorar la exactitud lograda en la estimación de costos por medio de métodos convencionalmente usados. El estudio de caso utilizado para evaluar el modelo, corresponde a datos provenientes de la producción de tubería para la transferencia de fluidos en la industria minera. Las evaluaciones experimentales demuestran que el modelo recursivo propuesto reduce el margen de error sin incrementar significativamente la complejidad del modelo.

**Palabras claves:** Redes Neuronales Artificiales, Recurrencia, Estimación, Costos.

## Abstract

Since the cost estimation is a vital process in planning of industrial production, it is important to ensure the highest accuracy. The life cycle of a product starts with the cost estimation, which information is useful for the establishment of design elements, their feasibility and margins of utility. Due to designers are prone to errors, and searching for models that represent the studied phenomena, it has been demonstrated that the modeling of nonlinear problems, based on Artificial Neural Networks (ANNs), provides approximations with low error margins. In this article, the implementation of a Recurrent Neural Network (RNN) is shown to improve the accuracy achieved in the study of costs by means of conventionally used methods. The case study used to evaluate the model corresponds to data coming from the production of pipes for heat exchangers. Experimental evaluations demonstrate that the proposed recursive model reduces the margin of error without significantly increasing the complexity of the model.

**Keywords:** Artificial Neural Networks, Recurrent, Estimation, Costs.

## Introducción

La estimación de costos es un proceso inherente a la planificación de la producción. La creación de un nuevo producto implica conocer los costos involucrados en su producción, es por tanto la estimación, el proceso preliminar más importante en cualquier proyecto de construcción. La estimación incorrecta de los costes conduce a muchos problemas, tales como: modificaciones en el diseño e incluso en la construcción. Graves



dificultades pueden ser acarreadas por una estimación incorrecta, tales como, retrasos en el desarrollo, o incluso en peores escenarios, la quiebra de empresas (Albogamy et. al., 2013).

Una Red Neuronal Artificial, ANN por sus siglas en inglés de Artificial Neural Network, conocida como Perceptrón Multicapa es un modelo inspirado en el sistema neurológico humano, cuyo objetivo es imitar el paradigma de aprendizaje. Una ANN desde su creación en 1943, ha sido ampliamente implementada en procesos de estimación, predicción, y extracción de características, principalmente. La aplicación de las ANNs en procesos de estimación ha sido observada en diferentes tipos de industrias, tales como química (Svozil, 1997), pesca (Sholahuddin et. al., 2015), agricultura (Đokić and Jovićen, 2017), entre otras.

En todos los trabajos citados se ha encontrado que las ANN constituyen un buen apoyo para la toma de decisiones. Parmee (2003), propone el uso de Redes Neuronales Artificiales en la Ingeniería de construcción para superar la incertidumbre ocasionada al momento de planificar los costos, debido generalmente a definiciones erradas.

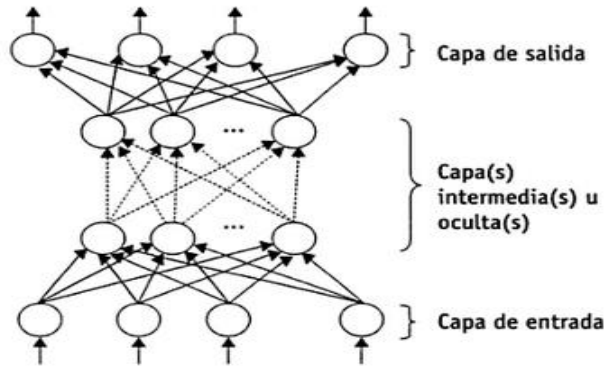
La ANN se compone de unidades llamadas neuronas, cada neurona recibe una serie de entradas a través de interconexiones y emite una salida, las conexiones entre capas poseen un determinado peso, valor que al inicio es aleatorio. Aunque una red puede ser construida con un número indeterminado de capas ocultas, puede demostrarse que la inclusión de un único nivel de neuronas ocultas resulta suficiente para que la red actúe como un aproximador universal de funciones (Freeman & Skapura, 1991). Existen varias demostraciones realizadas desde el trabajo de McCulloch y Pitts en 1943, Denker en 1987, Lapedes y Faber en 1987, Kolmogorov en 1957 y Hetch-Nielsen entre 1987 y 1990.

Ante la necesidad de mejorar los procesos de toma de decisión asociados a la construcción de nuevos productos, los modelos de estimación deben entregar mayor exactitud. En tal contexto, en el presente artículo se propone el uso de una Red Neuronal Recurrente, RNN por sus siglas en inglés de Recursive Neural Network, para mejorar la exactitud de la estimación lograda por una red típica con propagación hacia adelante (feedforward - no recurrente). El desempeño del modelo propuesto es evaluado por medio de datos provenientes de la fabricación de tuberías, para transporte de materiales de la industria minera, los que previamente fueron analizados por Rodríguez y Durán (2013), por medio de un polinomio multivariado y por Durán et al. (2009) por medio de una ANN feedforward. En la sección 2 se presentan la Metodología utilizada. En la sección 3 se describe el caso de estudio. En la sección 4 se muestran los Resultados y Discusión. Finalmente, en la sección 5 se concluye el artículo.

## Metodología

### Implementación de Redes Neuronales Artificiales

Una Red Neuronal Artificial típica tiene una estructura feedforward, la que se refiere a una propagación hacia adelante (Figura 1). La ANN feedforward está caracterizada por su organización en capas de celdas disjuntas, de forma que ninguna salida neuronal constituye una entrada para las neuronas de la misma capa o de capas previas, evitándose así las conexiones “hacia atrás” o recurrentes (Hilera y Martínez, 1995).



**Figura 1.**

ANN feedforward

Fuente: Flórez, 2008

En los modelos de estimación basados en datos, se usan una muestra de entrenamiento y otra de validación. En este caso, la muestra de entrenamiento es utilizada para el aprendizaje de la ANN, mientras que por medio de la muestra de validación se evalúa el modelo. La ANN en la capa de entrada, recibe un conjunto de variables conocidas como predictores, sobre los cuales se aplica una función de propagación, la que en este caso es de tipo aditiva, como se muestra en la Ecuación 1. En la capa de nodos ocultos se produce la activación, en este trabajo se aplica la función sigmoideal mostrada en la Ecuación 2. A la salida se entrega el valor de estimación, el que es comparado con la salida esperada, y partir de ello es calculado el error de predicción.

$$\hat{x}(n+1) = \sum_{j=1}^Q b_j Y_{Hj},$$

$$Y_{Hj} = f \left( \sum_{i=1}^P w_{ji} z_i \right)$$

Donde  $\hat{x}(n+1)$  es el vector de valores deseados (observados) en la iteración  $n+1$ ,  $b_j$  es el peso de la  $j$ -ésima conexión entre la capa de oculta y la capa de salida,  $Y_{Hj}$  es la matriz de salida de la capa oculta,  $f(\cdot)$  representa a la función de activación,  $w_{ji}$  es la matriz de pesos entre las conexiones de la capa de entrada y la capa oculta, mientras que  $z_i$  es el vector de entradas.

Existe un punto en el entrenamiento en el cual la ANN ha logrado generalizar su conocimiento y su máximo nivel de aprendizaje ha sido alcanzado, es decir se obtiene el mínimo error de predicción, el cual se basa en la diferencia entre el valor observado y el valor estimado. El proceso es iterativo y termina con un determinado número de repeticiones o cuando la ANN, ha logrado un valor mínimo de error preestablecido por el programador.

### Implementación del algoritmo de aprendizaje

El algoritmo de aprendizaje aplicado en una ANN, puede estar basado en alguna metaheurística o en el cálculo de la derivada de la función de costo, que generalmente es el error cuadrático medio (MSE). Por medio

del algoritmo se espera encontrar los pesos más óptimos para las conexiones desde la capa de entrada hasta la capa de nodos ocultos, y desde la capa de nodos ocultos hasta la capa de salida. En el presente trabajo se aplica un algoritmo de aprendizaje de segundo orden denominado Levenberg-Marquardt (LM). El algoritmo LM es aplicado en problemas de optimización de tipo no lineal. Su buena reputación se debe a la rapidez de propagación y exactitud de la solución. Puede ser imaginado como una combinación del algoritmo del método descenso del gradiente y el método Gauss-Newton. Cuando la solución está lejana, el algoritmo actúa como el método del descenso del gradiente, mientras que cuando la solución actual está cerca al óptimo global, llega a ser un método Gauss-Newton (Hagan, 2003). La forma general del algoritmo LM se muestra a continuación, donde  $\mathbf{W}$  es la matriz de pesos de la ANN,  $\mathbf{k}$  es el número de iteración,  $\mathbf{d}_k$  es el valor de actualización de los pesos,  $\mathbf{J}$  es la matriz Jacobiana que contiene las primeras derivadas de los errores de la red,  $\mu$  es un valor escalar que determina el comportamiento del algoritmo,  $\mathbf{I}$  es la matriz identidad y  $\mathbf{E}$  es la matriz de errores.

$$\mathbf{W}_{k+1} = \mathbf{W}_k + \mathbf{d}_k,$$

$$\mathbf{d}_k = [\mathbf{J}^T \mathbf{J} + \mu \mathbf{I}]^{-1} \mathbf{J}^T \mathbf{E}$$

### Cálculo de las Métricas de Rendimiento

Existen diferentes métricas para evaluar el rendimiento de la ANN, en este trabajo se calculan la Raíz Cuadrada del Error Cuadrático Medio (RMSE), el Error Absoluto Medio (MAE), y el Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ), como se muestra a continuación, donde  $x_i$  es el  $i$ -ésimo valor observado,  $\hat{x}_i$  es el  $i$ -ésimo valor estimado,  $\bar{x}$  es la media del valor observado, y  $N$  es el número de muestras.

$$RMSE = \sqrt{MSE},$$

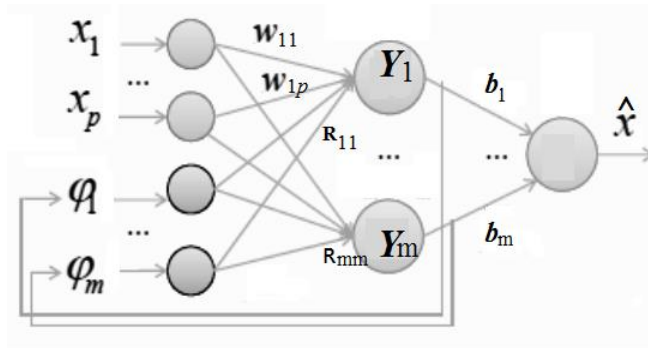
$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i - \hat{x}_i|$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N_s} (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^{N_s} (x_i - \bar{x})^2}$$

### Implementación de una Red Neuronal Recurrente

Por otro lado, la estructura de una Red Neuronal Recurrente, es crítica para la exactitud de la estimación. En este caso se implementa un Red Neuronal de Elman (ENN). Como se ilustra en la Figura 2, las conexiones recurrentes de la ENN se realizan desde la salida de las neuronas de la capa oculta, hacia la entrada de la ANN, cuyos nodos son llamados nodos de contexto ( $\varphi_1, \dots, \varphi_m$ ). El conjunto de nodos de contexto conforma la capa de contexto de una ENN, su nombre se debe al rol que juega en el almacenamiento de los estados internos (Şeker et al., 2003). La capacidad de aproximación de la ENN estará también en dependencia del algoritmo de aprendizaje.



**Figura 2.**  
Red Recurrente Elman

### Caso de Estudio

El caso de estudio por medio del cual se evaluará el modelo propuesto, corresponde a la estimación de costos de fabricación de tuberías para la transferencia de fluidos en la industria minera. Una tubería es cualquier estructura con forma cilíndrica diseñada para el transporte de material, los que pueden ser líquidos, sedimentos, partículas finas y granulometría. Diferentes materiales se usan en la fabricación de tuberías, verificándose que los más viables han sido: acero al carbono, acero inoxidable y otras aleaciones de acero.

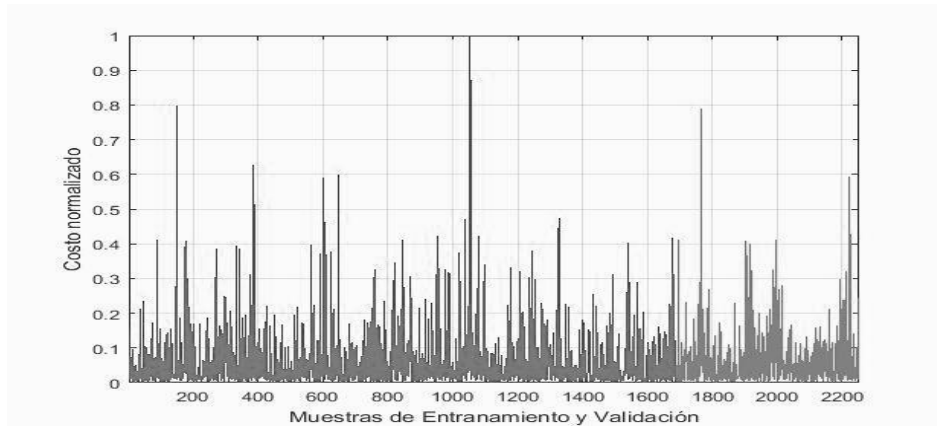
Para este estudio se utilizaron datos de un fabricante real de elementos de tubería, para transferencia de fluidos en operaciones de minería a gran escala (Rodríguez & Durán, 2013). La base de datos incluye las siguientes variables:

- (i) nombre del ítem
- (ii) código de identificación
- (iii) diámetro (en pulgadas)
- (iv) tipo de soldadura
- (v) grado de dificultad
- (vi) cavidades
- (vii) peso (kg.)

La identificación de variables explicativas se realizó por medio de herramientas estadísticas. Se obtuvo el cálculo de la matriz de correlación por medio de las variables listadas anteriormente y el costo observado en fabricaciones pasadas. Por medio del cálculo del Coeficiente de Correlación de Pearson, pudieron ser identificadas las variables más correlacionadas. En base a lo cual, se estableció un umbral de Correlación de Pearson de 0.70, y se encontró que las variables peso, tipo de soldadura y diámetro, muestran una correlación de 0.93, 0.77, y 0.71 con respecto al costo, por lo tanto, aquellas son seleccionadas como entrada en el modelo neuronal.

Una vez identificadas las variables significativas, el conjunto de datos se divide en dos partes: un conjunto de datos de entrenamiento y un conjunto de datos de validación. La Figura 3, muestra los datos correspondientes al caso de estudio; en el eje  $y$  se representan los costos de fabricación normalizados, mientras que en eje  $x$  se ubican la muestra de entrenamiento con 1690 ítems y la muestra de validación con 563 ítems. La normalización evita que las variables de entrada de gran valor dominen valores más pequeños y evita dificultades numéricas durante el cálculo, cada valor ha sido calculado por medio del cociente entre el valor observado y el valor máximo de la muestra; como resultado se obtienen valores en el rango (0-1). A partir de

la figura es observado un comportamiento no lineal, con una media aritmética del costo real en dólares de \$ 124.76 y una desviación estándar de 173.7, equivalentes a 0.059 y 0.089 respectivamente, expresados en valores normalizados, lo que indica una alta dispersión.



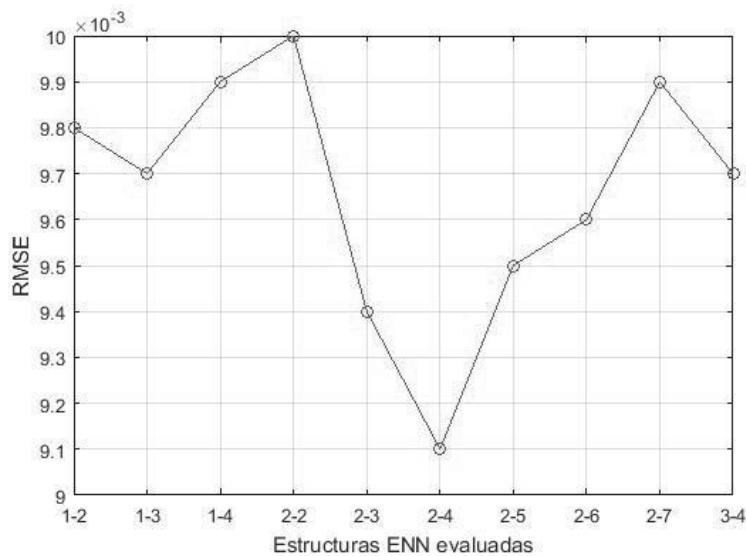
**Figura 3.**

Costos de Fabricación de Tuberías para Industria Minera

### Resultados

Una vez seleccionadas las variables explicativas del modelo, se procedió con la implementación de la solución basada en inteligencia artificial. La selección de la estructura del modelo ENN, basado en el algoritmo de aprendizaje Levenberg-Marquardt, se realizó por medio de pruebas ensayo-error, haciendo uso de la métrica RMSE.

La Figura 4, muestra la métrica de rendimiento con respecto a la combinación nodos de contexto - nodos ocultos. A partir de la figura, se observa que el mejor rendimiento se logra por medio del uso de 2 nodos de contexto y 4 nodos ocultos, con un RMSE de 0.0091. Los resultados corresponden a cada mejor ejecución de un número total de 30 repeticiones con cada configuración.



**Figura 4.**

RMSE obtenido en distintas estructuras ENN

Los datos fueron reorganizados en 2 grupos adicionales de entrenamiento y validación con la finalidad de identificar el desempeño de la ENN (3,2-4,1), con 3 entradas, 2 nodos de contexto, 4 nodos ocultos y 1 salida, con tres organizaciones distintas de los datos. Los resultados mostraron que el poder de estimación de la ENN se mantuvo en los mismos márgenes.

La Tabla 1, presenta los resultados logrados a través del modelo propuesto con los tres grupos de muestras de validación, así como también los resultados que fueron alcanzados por medio de los modelos de Durán et al. (2009) y de Rodríguez-Durán (2013).

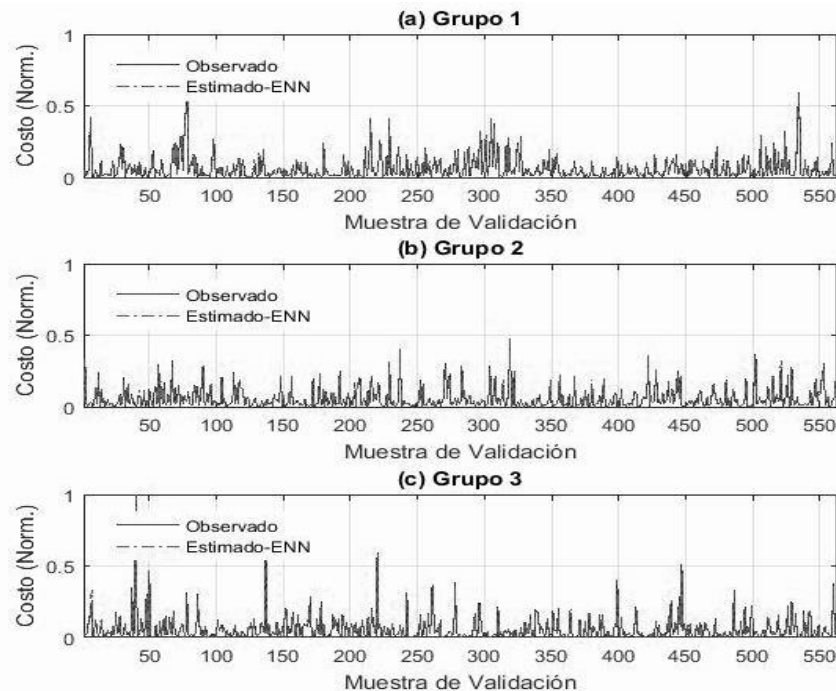
En el primer caso fue usada una ANN (3, 7, 1), con 3 entradas, 7 nodos ocultos y 1 salida. En tanto que, en el segundo, caso se usó un polinomio multivariado grado 8, con 3 entradas. Las tres entradas corresponden a las variables explicativas que fueron seleccionadas por medio de la prueba de correlación.

**Tabla 1.**  
Resultados de estimación de los modelos

<b>Modelo</b>	<b>RMSE</b>	<b>MAE</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
ANN feedforward (3,7,1) (Durán et al., 2009)	0.0130	0.0069	98.47%
Polinomio Multivariado (3,8) (Rodríguez y Durán, 2013)	0.0109	0.0055	98.87%
ENN (3,2-4,1) Agrupación 1	0.0091	0.0050	98.89%
ENN (3,2-4,1) Agrupación 2	0.0089	0.0047	98.97%
ENN (3,2-4,1) Agrupación 3	0.0098	0.0050	98.81%

A partir de los resultados de la Tabla 1, se puede verificar que la mayor exactitud de estimación es lograda por medio de la Red Neuronal Recurrente de Elman propuesta en el presente trabajo. La ENN logra una ganancia promedio en RMSE de 40.5%, en MAE de 40.9% y en R<sup>2</sup> de 0.5% con respecto a la ANN y con respecto al Polinomio Multivariado de 17.8% en RMSE, 12.3% en MAE y 0.1% en R<sup>2</sup>.

La Figura 5 muestra las curvas de estimación obtenidas por medio de las muestras de validación de los modelos basados en una ENN, para las tres diferentes agrupaciones de los datos. A partir de las figuras podemos observar un buen ajuste del modelo.



**Figura 5.**  
Curvas de estimación en ENN

### Conclusiones

En el presente trabajo ha sido propuesto y evaluado un modelo neuronal recurrente para mejorar la exactitud de la estimación de costos. El modelo está basado en una Red Neuronal tipo Elman para la estimación de costos de tuberías utilizadas en la industria minera. El modelo a pesar de incorporar recurrencia no llega a ser complejo debido a que se hace uso de una configuración simple, basada en dos nodos de contexto y cuatro nodos ocultos.

Los resultados obtenidos a través del modelo propuesto, han sido comparados con los logrados en publicaciones anteriores encontradas durante la revisión de la literatura. El margen superior de ganancia es del 40.5% en RMSE y de 40.9% en MAE, los que se obtienen con el modelo ENN con respecto a la exactitud lograda por una ANN feedforward.

En términos generales se ha observado, que los modelos no lineales analizados son capaces de reducir la incertidumbre relacionada con la estimación de costos de fabricación de tuberías. La toma de decisiones y la planificación se ven fortalecidas por medio de mayores niveles de exactitud en las aproximaciones.

Debido a la capacidad de generalización de los modelos neuronales, estos serán probados con nuevos bancos de datos que aporten a la toma de decisiones en los procesos de fabricación industrial.

### Agradecimiento

Gracias al Grupo de Investigación de Producción e Industrialización Animal (PROANIN) de la Universidad Nacional de Chimborazo por apoyar este trabajo a través del proyecto Redes Neuronales Artificiales para predecir la composición tisular de canales de cobayos.

## Referencias

- Albogamy, A., Scott, D., Dawood, N. & Bekr, G. (2013). *Addressing crucial risk factors in the middle east construction industries: a comparative study of Saudi Arabia and Jordan*, Sustainable Building. Conference Coventry University, West Midlands, UK.
- Đokić A., & Jović S. (2017). Evaluation of agriculture and industry effect on economic health by ANFIS approach, *Physica A Statistical Mechanics and its Applications*, 479, pp. 396-399, ISSN 0378-4371, Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2017.03.022>.
- Duran, O., Rodríguez, N., & Airton-Consalter, L. (2009). Neural networks for cost estimation of shell and tube heat exchangers, *International Journal: Expert Systems with Applications*, (36), pp. 7435–7440. doi: 10.1016/j.eswa.2008.09.014
- Flórez, R., Fernández, J. (2008). *Las redes neuronales artificiales*. Madrid, España: Netbiblio.
- Freeman, J., Skapura, D. (1991). *Neural networks algorithms, applications and programming techniques*. USA: Addison-Wesley.
- Hagan, M., Demuth, H., Beale, M. (2002). *Neural network design*. Hagan Publishing.
- Hilera, J., & Martínez, V. (1995). *Redes neuronales artificiales: fundamentos, modelos y aplicaciones*. Addison-Wesley Iberoamericana.
- Parmee, I. C. (2003). Computational intelligence and civil engineering- ing-perceived problems and possible solutions, in *Towards a vision for information technology in civil engineering, I*. Flood, Ed., ASCE, Nashville, Tenn, USA.
- Rodríguez, N., & Duran, O. (2013). *Reduced multivariate polynomial model for manufacturing costs estimation of piping elements*, *hindavi publishing corporation mathematical problems in engineering*, Vol. 2013, 765956. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/765956>
- Rui, Z., Metz, G., & Chen, P. A. (2012). An analysis of inaccuracy in pipeline construction cost estimation, *International Journal of Oil Gas and Coal Technology*, 1(5), pp. 29–46.
- Şeker, S. Ayaz, E. Türkcan, E. (2003). Elman's recurrent neural network applications to condition monitoring in nuclear power plant and rotating machinery, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, (16), Issues 7–8, October–December, pp. 647-656.
- Sholahuddin, A., Ramadhan, A., Supriatna, A. (2015). The application of ANN-Linear perceptron in the Development of DSS for a Fishery Industry, *Procedia Computer Science*, (72), pp. 67-77, ISSN 1877-0509 Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.106>.
- Svozil, D. Kvasnicka, V., & Pospichal, J. (1997). Introduction to multi-layer feed-forward neural networks, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, (39), Issue 1, pp. 43-62, ISSN 0169-7439, Recuperado de [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-7439\(97\)00061-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-7439(97)00061-0).



Thomas, S. R., Lee, S.-H., Spencer, J. D., Tucker, R. L. & Chapman, R.E. (2004). Impacts of design/information technology on project outcomes. *Journal of Construction Engineering and Management*, 4 (130), pp. 586–597.

## Análisis y diseño de una aeronave no tripulada para uso agrícola

**Javier Enrique Orna Chávez**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
javier.orna@esPOCH.edu.ec

**Jorge Isaías Caicedo Reyes**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
jorge.caicedo@esPOCH.edu.ec

**Otto Fernando Balseca Sampedro**

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
otto.balseca@esPOCH.edu.ec

### Resumen

La presente investigación plantea diversificar el uso de aeronaves no tripuladas de alas giratorias para aplicaciones en el sector agrícola, para ello se analiza y diseña una aeronave no tripulada. En primera instancia se estudia las aplicaciones de este tipo de aeronaves en este sector, para determinar posibles condiciones de diseño que servirán para el dimensionamiento y diseño de la aeronave. Una vez establecidas los requerimientos se procede al análisis aerodinámico para dimensionar y establecer la potencia requerida de la aeronave. Con ello se pretende optimizar el peso y tiempo de autonomía para finalmente diseñar un prototipo de aeronave construido en fibra de carbono con la ayuda de teorías de falla aplicadas a materiales compuestos. Al finalizar la investigación se ha diseñado una aeronave no tripulada de 6 rotores cada uno con una potencia instalada de 700 W, la aeronave obtenida posee una autonomía de 40 minutos sin carga útil, 20 minutos con una carga útil de 3 kg y 8 minutos con una carga útil de 5 kg. La aplicación comercial de estas aeronaves son el monitoreo de terrenos y fumigación en zonas inaccesibles

**Palabras claves:** Aeronave no tripulada, Hexacóptero, Fibra de carbono, Diseño aerodinámico, Diseño mecánico.

### Abstract

The present research proposes to diversify the use of unmanned aerial vehicles (UAV) with rotating wings for applications in the agricultural sector. For this we have analyzed and designed an unmanned aircraft. In first instance the applications of this type of aircraft in this sector were reviewed to determine possible design conditions that would aid in the sizing and design of the aircraft. Once the requirements had been determined, aerodynamic analysis was carried out to size up and launch the required power output for the craft. This in order to optimize the weight and autonomous flight time to finally design an aircraft prototype built in carbon fiber with the aid of fault theories as applied to composite materials. At the end of the research, an unmanned aircraft of 6 rotors, each with an installed power supply of 700W was designed. The aircraft has an autonomous flight time of 40 minutes without a payload, 20 minutes with a payload of 3Kg, and 8 minutes with a payload of 5 kg. The commercial application of these aircraft are the monitoring of land and fumigation in inaccessible areas.

**Keywords:** Unmanned aircraft, Hexacoptero, Carbon fiber, Aerodynamic design, Mechanical design.

## Introducción

### Introducción al problema

Los UAVs, del inglés Unmanned Aerial Vehicle o vehículos aéreos no tripulados, han evolucionado en el mundo desde la Primera Guerra Mundial (Johansson, 2011), aunque en anteriores décadas se encontraban muy centrados en entornos militares. Entonces, se utilizaban como una forma de volar más segura ya que no requerían de piloto. Por esta razón, se ha buscado hacer que las aeronaves fueran más pequeñas, aerodinámicas, con menos consumo de combustible y a la vez más ágiles.

Hoy, todas esas características siguen siendo extremadamente útiles, pero además se ha expandido su campo de acción. Como ya se comentó en el párrafo anterior, existen importantes investigaciones en drones militares (como son llamados de forma coloquial), así también en drones civiles. Un UAV, con mayor o menor grado de inteligencia, puede comunicarse con su controlador para devolverle datos de una imagen (térmica, óptica, etc.) así como también, información referente a su estado, posición, velocidad del aire, orientación, altitud o cualquier parámetro de su telemetría.

Los drones que se han desarrollado son aeronaves tipo aerodino con motor propulsor, es decir, que su vuelo se produce por la generación de fuerzas aerodinámicas. Los más comunes son de ala fija tipo avión y de ala giratoria como los multicopteros.

En los últimos años se han registrado avances exponenciales en el desarrollo de aeronaves no tripuladas, principalmente en lo que se refiere a los multirotores debido a las diversas aplicaciones que se les puede dar (Sullivan, 2005), muchas universidades y centros de investigación se encuentran desarrollando estas tecnologías para distintos usos como monitoreo de zonas inaccesibles, vigilancia de redes eléctricas, entre otras (Tang & Shao, 2015).

En el ámbito civil uno de los campos de aplicación de aeronaves no tripuladas es la agricultura, en ésta área existen diversas aplicaciones como el mapeo de campos de una forma rápida y ágil y de esta forma: localizar plagas o enfermedades, evaluar las condiciones del terreno, controlar la productividad, controlar el crecimiento de los cultivos (G. J. Grenzdörffer, 2008). La información proporcionada por estas aeronaves representa un ahorro significativo en los costos de un agricultor, el detectar enfermedades en el cultivo de forma prematura se refleja en un menor uso de químicos (R. Ehsani, 2013).

### Importancia del problema

Una aeronave no tripulada se puede utilizar para la distribución de pesticidas, fertilizantes y aditivos con la finalidad de mejorar la calidad del producto, pueden transmitir fotos y video en tiempo real para monitorear el estado de los cultivos (S. Herwitz, 2002). En Japón el uso de aviones no tripulados en la agricultura se realiza desde hace más de 2 décadas, por ejemplo, Yamaha comercializa helicópteros no tripulados que actualmente controlan 35% de las plagas en campos de arroz. La agricultura de precisión que pretende obtener una mayor eficiencia y sustentabilidad se alimenta de sistemas de referencia geográfica y mapeo de los cultivos cuyas medidas se pueden adquirir por medio del uso de aeronaves no tripuladas, entre sus principales funciones podemos tener (Moltoni, 2015):

- Manejo eficiente del agua.
- Tratamiento localizado de herbicidas.
- Uso óptimo de fertilizantes.
- Detección prematura de plagas.
- Supervisión de áreas fumigadas.
- Evolución año en año de las malezas.
- Mapeo de suelos.

Con las consideraciones que se han presentado, se puede ver la necesidad de drones para diversas aplicaciones comerciales, entre las más importantes se puede mencionar el monitoreo de terrenos y la fumigación en zonas inaccesibles como aplicaciones comerciales para el dron agrícola.

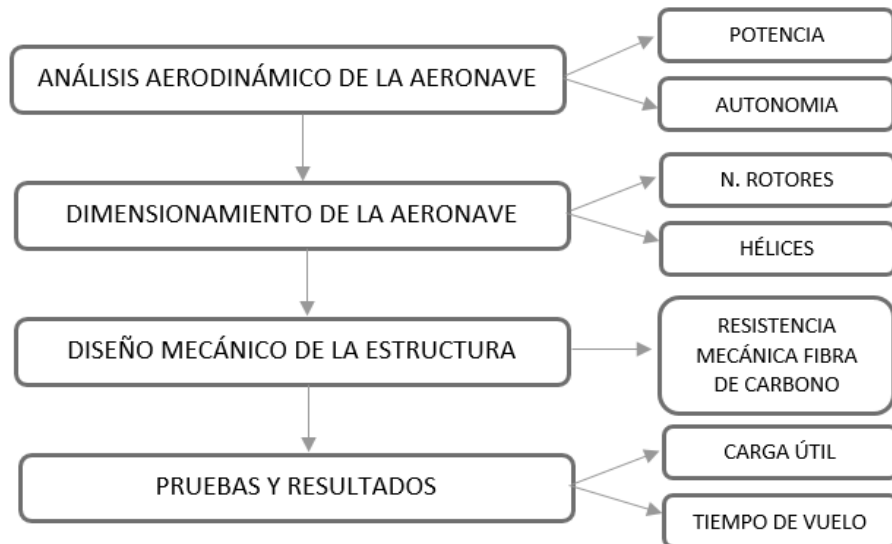
### Metodología

En el presente artículo se usó técnicas de investigación bibliográfica y de campo, para llevar a cabo el diseño de la aeronave no tripulada se ha enfocado en dos aspectos el análisis aerodinámico que nos permitirá determinar la potencia requerida según condiciones de operación y el diseño mecánico en el que se diseñará una estructura que resista las cargas a las que el equipo se someta. También se analizará una aeronave no tripulada de ala giratoria, es decir un multicoptero con 6 rotores comúnmente llamado hexacóptero. Para determinar la potencia requerida para el vuelo, se utilizarán 2 teorías: la Teoría de Cantidad de Movimiento y la Teoría de Elemento de Pala.

Para el diseño de la aeronave en función de las posibles aplicaciones antes mencionadas se obtienen los siguientes parámetros de diseño:

- Carga máxima (Peso propio + Carga útil) = 13 kg (8 kg de carga muerta y 5 kg de carga útil)
- Tiempo de Autonomía = 40 min sin carga / 20 min a carga máxima
- Número de rotores = 6
- Altura de vuelo = 350 msnt / 3200 msnm

Para el logro de cada uno de los objetivos planteados se empleó la metodología descrita en la siguiente gráfica



**Figura 1.**

Metodología de diseño de la aeronave

Fuente: Investigación bibliográfica, 2016

Realizado por: Autores

### Metodología para el análisis aerodinámico

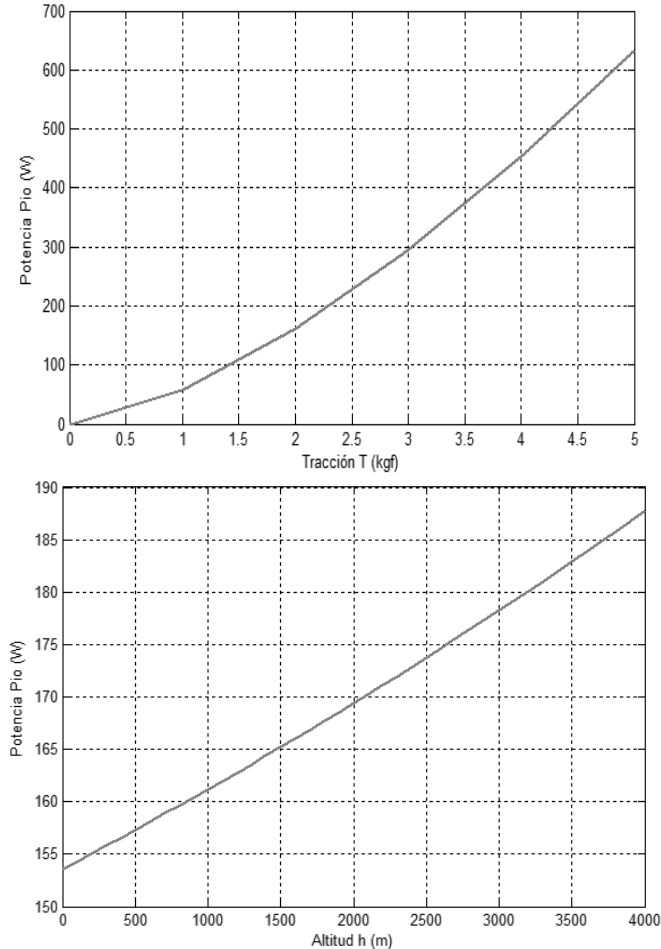
Para el dimensionamiento del hexacóptero primero se determina la potencia requerida, la misma debe ser la suficiente para cumplir con las distintas condiciones (Roger, 2011), (Zhang & Sun, 2010) que se mencionan a continuación:

- Vuelo a punto fijo.

- Vuelo de ascenso.
- Vuelo de descenso.
- Vuelo en avance.

### Cálculos según la teoría de cantidad de movimiento

A continuación, se presenta la variación de la potencia a distintas alturas. En la gráfica se puede observar que la potencia requerida a nivel del mar es de 153,5 W, por lo que se puede determinar que para que el hexacóptero opere normalmente a 3200 msnm se requiere de un incremento de 26.66 W. En la gráfica (b) se observa la variación de la potencia requerida a punto fijo para una altitud de 3200 m.s.n.m. Se considera la tracción de cada motor en un intervalo de 0 a 5 kgf.



**Figura 02.**

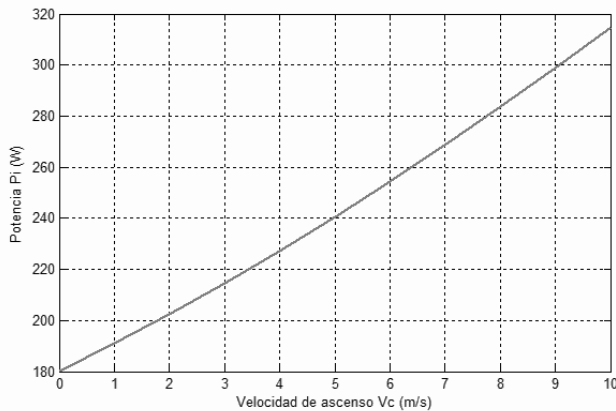
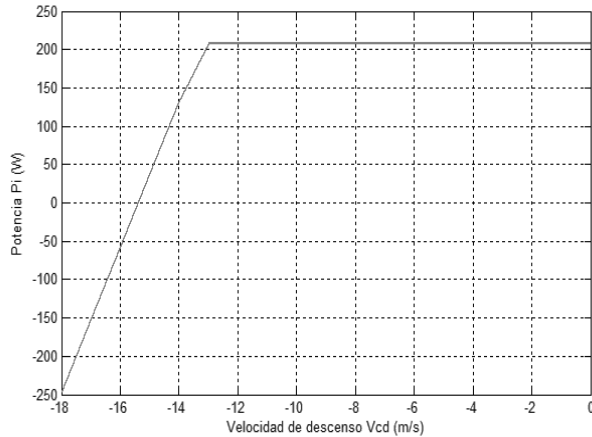
(a)Potencia vs. Altitud. (b) Potencia vs. Tracción (TCM)

**Fuente:** Investigación bibliográfica, 2016

**Elaborado:** Autores.

### Potencia en vuelo axial ascendente y descendente

En vuelo axial ascendente existe una velocidad relativa entre la hélice y el aire (Seddon, 1990). Se considera una velocidad máxima de ascenso de 6 m/s por lo cual la potencia requerida para este tipo de maniobra es igual a 254.46 W.



**Figura 3.**

Potencia en vuelo axial vs. Velocidad (a) Ascendente, (b) Descendente (TCM).

**Fuente:** Investigación bibliográfica, 2016

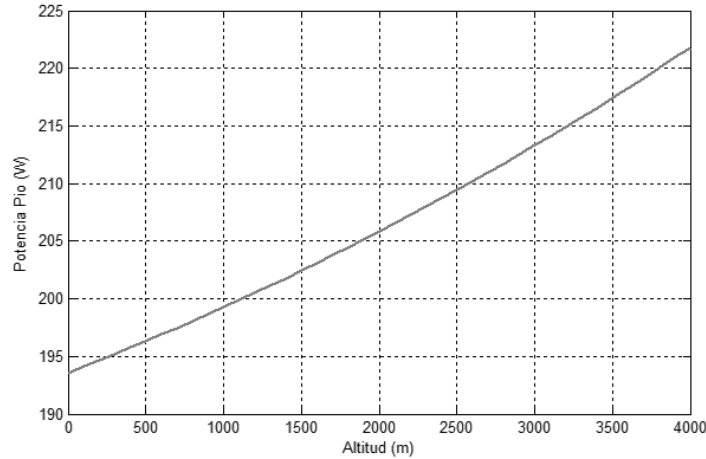
**Elaborado:** Autores

Se puede observar que en vuelo a descenso se obtiene una potencia nula para velocidades de 15,4 m/s, además la potencia requerida es la misma para un descenso de hasta 13 m/s, por seguridad se tomará como velocidad máxima de descenso un valor de 6 m/s.

**Cálculos según la teoría de elemento de pala**

La TEP considera que la sección de la pala tiene un comportamiento bidimensional, para realizar el análisis se requiere de un modelo de velocidad inducida como la TCM, la teoría de vórtices o ajustes experimentales. La dificultad que presenta esta teoría es que se debe conocer las características geométricas de la hélice, debido a que la fuerza de sustentación y arrastre es igual a la sumatoria de los aportes de cada elemento diferencial de la pala.

En el gráfico 4 se muestra la variación de la potencia para distintas alturas. EL intervalo considerado es desde 0 a 4000 m.s.n.m.



**Figura 4.**

Potencia en vuelo a punto fijo vs. Altitud. (TEP)

**Fuente:** Investigación bibliográfica, 2016

**Elaborado:** Autores

### Potencia requerida TCM-TEP

En la sección anterior se ha determinado la potencia requerida por medio de 2 teorías la TCM y TEP. Se observa que la TCM es mucho más fácil de aplicar, pero no tiene en cuenta ciertas consideraciones como la potencia parásita y la geometría de la hélice.

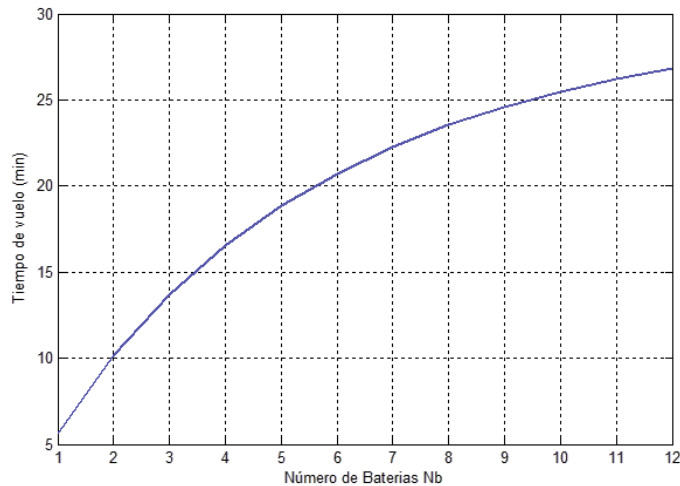
Por esta razón se utiliza un factor de mérito (FM) para corregir los resultados obtenidos, el mismo es la relación que existe entre la potencia calculada y la potencia real, este valor normalmente oscila entre 0,5 a 0,8. Para obtener este factor de mérito se puede tomar datos experimentales, pero en ausencia de ellos se puede utilizar la TEP para obtener un valor aceptable, el factor de mérito es (Bramwell, 2001):

$$FM = \frac{\frac{C_T^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{2}}}{C_{P_i} + C_{P_o}}$$

Como los factores no son constantes, se procede a calcular el factor de mérito para la velocidad de ascenso de 6 m/s.

$$FM = 0,621$$

Como la velocidad de ascenso es de 6 m/s y con un factor de servicio de 1.5 se obtiene una potencia requerida en cada motor de 615 W, la autonomía del drone está asociado al número de baterías en operación y la carga útil, en la siguiente gráfica se muestra los tiempos de autonomía para distintos números de baterías, se puede notar que al aumentar el número de baterías también aumenta el peso propio de equipo por lo que la autonomía llega a estabilizarse luego de un cierto valor.



**Figura 5.**

Tiempo de vuelo vs. Cantidad de baterías

**Fuente:** Investigación bibliográfica, 2016

**Elaborado:** Autores

### Metodología para el diseño mecánico

El análisis mecánico se realizó con la finalidad de asegurar la resistencia estructural de la aeronave. La misma soporta los esfuerzos generados en las maniobras realizadas para la ejecución del monitoreo, en el capítulo anterior se calculó la potencia requerida para las condiciones establecidas de diseño y se ha determinado varios parámetros que se requieren para el diseño mecánico.

Las dimensiones de la aeronave dependen del tamaño de la hélice que se va a utilizar, en la sección anterior se determinó que las hélices adecuadas para la aplicación tienen un diámetro de 18 pulgadas.

En este tipo de aeronaves 3 motores giran en sentido de las manecillas del reloj y los 3 restantes en sentido contrario, con esto se anulan los momentos generados por el giro de las hélices y no se requiere un rotor anti par.

El diámetro debe ser el adecuado para que el área proyectada de cada hélice no ocupe el espacio de su hélice vecina, por lo tanto, considerando hélices de 18 plg, se requiere un diámetro de 960 mm para que las hélices no se crucen, con este diámetro se proporciona 30 mm de espacio entre cada hélice como distancia mínima, que se considera adecuada para el correcto funcionamiento. Con este dato como referencia se puede modelar la estructura del hexacóptero.

Una vez que se ha modelado cada parte del hexacóptero se procede a ensamblar los componentes, para asegurar que no exista interferencia entre ellos y se cumpla con los requerimientos establecidos.

Con la configuración presentada en la figura anterior se obtiene un diámetro de 960 mm, por lo que se asegura que las hélices en funcionamiento no se chocarán.

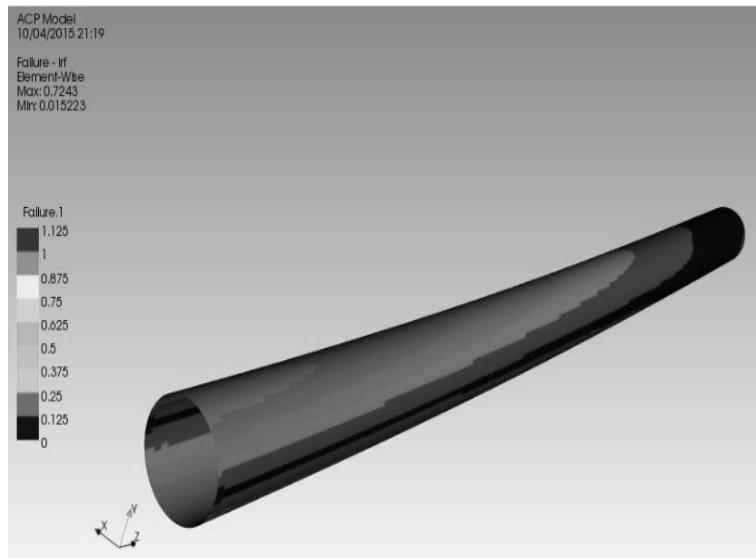


### Análisis mecánico de la estructura

Para ello se utiliza el software ANSYS concretamente el módulo Composite Prepost. En la primera parte se conforma el material compuesto, los brazos están conformados por 4 capas con la orientación  $[0^\circ 90^\circ 0^\circ 90^\circ]$ .

Para obtener una adecuada orientación del laminado se procedió a generar el sistema de referencia y orientación a utilizar. Debido a que el tubo está modelado como una superficie con el diámetro interno la orientación de las capas debe estar hacia afuera y el ángulo de  $0^\circ$  está alineado con el eje del elemento.

Para determinar la resistencia del brazo se utilizó la teoría de Tsai-Hill, con este criterio en la siguiente gráfica se muestran los resultados obtenidos.



**Figura 6.**

Criterio de falla en ANSYS

**Fuente:** Ansys Workbench, 2016

**Elaborado:** Autores

Se puede observar que el estado de tensión alcanza un valor de 0,75 que equivale a un coeficiente de seguridad de 1,33. Se puede observar que la zona crítica corresponde a la de compresión, esto se debe a que la resistencia a la compresión es menor que a tracción.

### Resultados

Para validar los resultados obtenidos se comparará la deflexión y carga de falla obtenido experimentalmente con un análisis en ANSYS. Las pruebas se realizan con un tubo de 28 cm de largo. La probeta analizada presentó falla a una carga de 62 kg (607,6 N) y presentó una deflexión máxima de 15,85 mm.

A continuación, se realiza en ANSYS un estudio de una viga similar y se aplica sobre ella una carga progresiva hasta los 70 kgf. La deflexión máxima obtenida con una carga de 62 kg es de 15,156 mm por lo tanto si se compara con la deflexión obtenida experimentalmente se tiene un error del 4,38% que es aceptable.

### Pruebas de vuelo sin carga

Las pruebas de vuelo se realizaron sin carga, con una carga útil de 1 kg, 3 kg y 5 kg. Las variables a medir son el tiempo de vuelo y la velocidad de avance.

**Tabla 1.**

Pruebas de vuelo con 4 baterías sin carga.

<b>Vuelo</b>	<b>Tiempo de vuelo (min)</b>	<b>Velocidad de avance (m/s)</b>
1	26,15	8,6
2	27,54	8,2
3	26,68	8,5
4	27,41	8,3
5	27,35	8,1
Promedio	27,026	8,34

**Fuente:** Investigación de campo, 2016

**Elaborado:** Autores

**Tabla 2.**

Pruebas de vuelo con 6 baterías sin carga.

<b>Vuelo</b>	<b>Tiempo de vuelo (min)</b>	<b>Velocidad de avance (m/s)</b>
1	41,25	8,1
2	39,78	7,9
3	40,25	7,6
4	42,68	8,2
5	40,74	8,4
Promedio	40,94	8,04

**Fuente:** Investigación de campo, 2016

**Elaborado:** Autores

### **Pruebas de vuelo con 3 kg de carga**

**Tabla 3.**

Pruebas de vuelo con 4 baterías y 3 kg de carga útil.

<b>Vuelo</b>	<b>Tiempo de vuelo (min)</b>	<b>Velocidad de avance (m/s)</b>
1	16,25	6,9
2	14,48	6,5
3	16,25	6,8
4	17,85	6,9
5	16,21	6,8
Promedio	16,208	6,78

**Fuente:** Investigación de campo, 2016

**Elaborado:** Autores

**Tabla 4.**

Pruebas de vuelo con 6 baterías y 3 kg de carga útil.

<b>Vuelo</b>	<b>Tiempo de vuelo (min)</b>	<b>Velocidad de avance (m/s)</b>
1	19,78	7,4
2	18,95	6,5
3	20,87	6,3
4	22,25	6,7
5	18,68	6,5
Promedio	20,106	6,68

**Fuente:** Investigación de campo, 2016

**Realizado por:** Autores

### Pruebas de vuelo con 5 kg de carga

**Tabla 5.**

Pruebas de vuelo con 2 baterías y 5 kg de carga útil.

<b>Vuelo</b>	<b>Tiempo de vuelo (min)</b>	<b>Velocidad de avance (m/s)</b>
1	6,21	7,1
2	6,15	6,9
3	5,48	6,8
4	7,18	7,05
5	5,49	6,9
Promedio	6,102	6,95

**Fuente:** Investigación de campo, 2016

**Elaborado:** Autores

**Tabla 6.**

Pruebas de vuelo con 4 baterías y 5 kg de carga útil.

<b>Vuelo</b>	<b>Tiempo de vuelo (min)</b>	<b>Velocidad de avance (m/s)</b>
1	8,75	6,2
2	8,82	6,3
3	9,15	6,2
4	7,65	5,9
5	8,15	6,1
Promedio	8,504	6,14

**Fuente:** Investigación de campo, 2016

**Elaborado:** Autores

### Discusión

El tiempo máximo de vuelo se obtiene con el aporte de 6 baterías y sin carga obteniendo un tiempo de vuelo de 40,95 min, con 1 kg de carga se obtiene un tiempo máximo de vuelo de 29,46 min, con una carga de 3 kg se obtiene un tiempo máximo de vuelo de 20,1 min y con una carga de 5 kg se obtienen 8,5 min.

El tiempo de vuelo de la aeronave sin carga (15,45 minutos) sobrepasa sin dificultad el tiempo de vuelo de un dron comercial (6 a 8 minutos), tomando en cuenta que este valor es tomado cuando solo aportan energía dos

baterías, es decir un dron comercial con una cámara sencilla y con una batería de similar aporte cumple con la mitad del tiempo de vuelo del dron desarrollado en este proyecto.

El tiempo de vuelo del hexacóptero al momento de llevar 1 kg. de carga con 6 baterías conectadas, es de 29 minutos en promedio, esto demuestra que está preparado para levantar una cámara sencilla y brindar un tiempo de autonomía provechoso.

La velocidad de desplazamiento horizontal no se ve gravemente afectada por llevar un kilogramo de peso, es decir fluctúa entre 7 – 8 m/s.

El multirotor garantiza un tiempo de vuelo aceptable (11 minutos) y mayor que un dron comercial al disminuir al mínimo su aporte de energía almacenada (2 baterías) con un peso de carga útil de 3 kg.

Se proporciona un tiempo de vuelo y una velocidad aceptable con un aporte de energía de 4 baterías y 3 kg de carga útil, 16,2 minutos y 6,8 m/s. La carga útil máxima para el equipo es de 5 kg, sin embargo, se aprecia muy favorablemente que el tiempo de vuelo con 4 baterías es de 8,5 minutos, en otras palabras, el hexacóptero está levantando en total: 13 kg, 8 kg de baterías y peso muerto y 5 kg de carga útil.

No se recomienda sobrecargar al dron construido, pues no se garantiza ni su elevación ni su desempeño eficiente en el aire, sin embargo, se brinda la sugerencia de ser el caso, aumentar mayor carga útil, disminuyendo gradualmente el número de baterías.

## **Conclusiones**

Se ha diseñado y construido un hexacóptero para uso agrícola, que cumple con los requerimientos establecidos al inicio del presente proyecto y se han realizado las pruebas requeridas para demostrar la confiabilidad del equipo.

En las pruebas realizadas sin carga se ha obtenido un tiempo de vuelo promedio de 40,94 min, el requerimiento bajo estas condiciones es de 40 min, por lo que se cumple con el objetivo de autonomía en vacío. Además, se han realizado pruebas de autonomía con distintas cargas, con 1 kg de carga se obtiene un tiempo de vuelo de 29,76 min para 3 kg de carga se obtiene 20,11 min y con 5 kg de carga un tiempo máximo de vuelo de 8,5 min, los resultados son satisfactorios ya que superan a drones comerciales ya que los mismos no superan un tiempo de vuelo de 20 min sin carga y 7 min con carga máxima de 1 kg.

Inicial, teórica e idealmente se ha apuntado al desarrollo del presente proyecto a una carga útil de (15 Kg) y autonomía de vuelo de una hora, sin embargo, tomando en cuenta condiciones reales de vuelo y eficiencia de motores, se ha llegado a cumplir un tiempo de vuelo de 40 minutos sin carga, y un promedio de 15 minutos con un peso total de 11, 5 Kg (8,5 Kg. Carga muerta, 3 Kg Carga viva), con una carga de vuelo de 5 kg se obtuvo un tiempo de vuelo de 8 min.

La capacidad de carga útil máxima del equipo es de 5 kg cumpliendo con el alcance del proyecto, para ello se debe cargar al hexacóptero con 4 baterías, ya que con 6 baterías se excede el 70% de carga de los motores y esto puede recalentarlos, con 6 baterías instaladas se recomienda una carga máxima de 3 kg.

Se ha estudiado los tipos y principios de funcionamiento de aeronaves no tripuladas, haciendo hincapié en multirotores, en el análisis se determina que las principales variables que determinan su funcionamiento son la capacidad de almacenamiento de energía y la carga útil, esto es que a mayor carga útil el tiempo de vuelo disminuye drásticamente debido al consumo de los motores, por ello lo más eficiente en el equipo es que éste tenga el menor peso posible, ya que al aumentar baterías se aumenta su capacidad energética pero también su peso propio por lo que la autonomía no aumenta significativamente.

Para que la estructura sea ligera y resistente se la ha construido en fibra de carbono, este al ser un material compuesto debe ser diseñado como tal, para ello se ha realizado un análisis de elementos finitos del elemento más crítico que es el brazo, el mismo consta de un tubo de 25 mm de diámetro externo y 23 mm de diámetro interno se ha comprobado que resiste las cargas solicitadas con un factor de seguridad 1,33, el mismo que se determina con la teoría de Tsai-Hill y se considera adecuado, para verificar la veracidad de estos resultados se los ha validado comparando con resultados experimentales obteniendo un error del 4,38% que es mínimo por lo que se comprueban los resultados de elementos finitos.

Se ha realizado un análisis aerodinámico para seleccionar los motores, para ello se utiliza dos teorías: Teoría de Cantidad de Movimiento (TCM) y Teoría de Elemento de Pala (TEP), principalmente el análisis se basa en la TCM y se hace una corrección de los resultados utilizando criterios de la TEP para el cálculo del factor de mérito, el análisis determina que se requiere una potencia mínima de 614 W en cada motor, para ello se utiliza en la construcción del equipo motores brushless TAROT 5008 de alta eficiencia con una potencia nominal de 700 W, en las pruebas realizadas se han tenido resultados satisfactorios por lo que se valida los cálculos aerodinámicos realizados.

Con la ejecución de este proyecto se ha construido un hexacóptero de monitoreo, el mismo que su parte mecánica puede ser fabricado en su totalidad con tecnología existente en el país, esto con la finalidad de reproducir el equipo en el país.

El costo del equipo se encuentra muy por debajo del costo de drones comerciales de capacidades similares, por lo que se aprecia una ventaja económica significativa en fabricar el dron en el país a comparación de importarlo, además se tiene la ventaja de personalización en función de los requerimientos establecidos.

Se puede concluir que el equipo diseñado puede comercializarse para su uso como monitoreo de zonas agrícolas con un tiempo de autonomía de hasta 40 min con una velocidad máxima de 8 m/s, adicional otra aplicación comercial es la de fumigación en zonas inaccesibles con una carga máxima de 5 kg, el tiempo de autonomía se reduce a medida que se aumenta la carga útil por ello es recomendable que la carga nominal sea de 3 kg para aplicaciones de fumigación.

### **Agradecimiento**

Un extensivo agradecimiento al CID FAE por la apertura y ayuda brindada en la ejecución del presente proyecto.

### **Referencias**

Abbott (2006). *Theory of wing sections*. New York, Estados Unidos: Dover Publications.

Arias, V. (2004). *Falla de los materiales compuestos laminados*. Scientia el Technica.

- Bramwell (2001). *Helicopter dynamics*. Butterworth-Heinemann.
- G. J. Grenzdörffer, A. E. (2008). The photogrammetric potential of low-cost uavs in forestry and agriculture. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B1, pp.1207-1214.
- Guerrero (2011). *Nuevos materiales aplicaciones estructurales e industriales*. Quito, Ecuador: EPN.
- Johansson, L. (2011). Is it morally right to use unmanned aerial vehicles (UAVs) in war? *Philosophy & Technology*, pp. 279-291.
- Minguzi (1998). *Fiber reinforced plastics*. Roma, Italia: Editorial Alinea.
- Molinier, M. (2006). *Análisis de los criterios de falla aplicados a los laminados compuestos*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires.
- Moltoni (2015). *Conveniencia del uso de drones en aplicaciones sitio-especificas de herbicidas*. INTA, pp. 1-18.
- Ehsani, R., J. M. (2013). *The raise of small UAVs in precision agriculture*. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Roger (2011). *Diseño de helicópteros y aeronaves diversas*. ETSEIAT – UPC.
- S. Herwitz, L. J. (2002). *Precision agriculture as a commercial application for solar-powered unmanned aerial vehicles*. American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Seddon (1990). *Basic helicopter aerodynamics*. 3ra Edición. Blackwell Science Ltd.
- Sullivan, J. (2005). *Revolution or evolution? The rise of the UAVs Technology and Society*.
- Tang, L. & Shao, T. (2015). Drone remote sensing for forestry research and practices. *Journal of Forestry Research*, pp. 791–797.
- Zhang, Y., & Sun, M. (2010). Wing kinematics measurement and aerodynamics of free-flight maneuvers in drone-flies. *Acta Mechanica Sinica*, pp.371–382.

# Diseño de prototipos para la reducción en la generación de desechos mediante la reutilización de recursos no biodegradables

**Ing. Karina Berrezueta Espín**

ASEINMA

taniakarinabe@hotmail.com

**Ing. Luis López Telenchana**

ASEINMA

inglopezluis@hotmail.com

## Resumen

Uno de los principales factores que han determinado el acelerado cambio climático es definitivamente el sobre consumo de productos no biodegradable, es decir, productos cuyo ciclo de reinserción al ambiente es tan extenso que una misma generación no lo podría percibir. Bajo este concepto se puede afirmar que todo producto no biodegradable se convierte en un contaminante, el objetivo es ahora reducir el número de elementos de este tipo en el ambiente a través de la reutilización de esta clase se recursos, particularmente, se trata sobre las llantas, cuya utilización y desecho genera altos índices de contaminación cada año a nivel mundial, la investigación propone una sencilla y practica forma de reutilizarlas, y de un panel de energía solar pasiva para calentar agua hecho a base de las parrillas de los refrigeradores que alcanzaron el ciclo final de vida útil. Estos dos proyectos, son soluciones amigables, fáciles de realizar y económicas, generando bienestar al medio ambiente y a la colectividad.

**Palabras claves:** Reutilización, Llantas, Panel, Solar.

## Abstract

One of the main factors that have determined the accelerated climate change is definitely the over consumption of non-biodegradable products, ie products whose cycle of reinsertion to the environment is so extensive that the same generation could not perceive it. Under this concept it can be stated that any non-biodegradable product becomes a pollutant, the objective is now to reduce the number of elements of this type in the environment through reuse of this class resources, particularly, is about tires , Whose use and disposal generates high pollution levels every year worldwide, the research proposes a simple and practical way to reuse them, and a passive solar panel to heat water made from the grills of the refrigerators that reached the End-of-life cycle. These two projects are friendly solutions, easy to carry out and economic, generating well-being to the environment and the community

**Keywords:** Reuse, Tires, Panel, Solar.

## Introducción

Ante una escasa reglamentación y control sobre la disposición final de recursos no biodegradables, el proyecto pretende dar una solución a la problemática ambiental actual, por medio de sencillas propuestas que brindan doble beneficio: en el aspecto ambiental, contribuyen a la reacción de recursos cuyo ciclo de regeneración es amplio, así como también, contribuyen con el desarrollo social, dado el bajo costo de inversión inicial que proyecta cada una de las alternativas. La hipótesis planteada en el trabajo, señala que la reutilización de desechos no biodegradables reduce la cantidad de desechos contaminantes en la Provincia de Chimborazo. Se

pretende comprobar la hipótesis levantando una propuesta para la reutilización de recursos no biodegradables como llantas y parrillas de refrigeradores. El proyecto a corto y mediano plazo, busca reducir la cantidad de desecho no biodegradable presente en el ambiente y generar alternativas rentables y sostenibles para la clase baja.

## **Conceptualización**

### **Llantas**

El mercado anual de llantas en Ecuador, incluyendo las importadas y producidas en el país, alcanza las 5.700.000 unidades. De estas, al menos 1.282.500 son desechadas cada año solo en el Distrito Metropolitano de Quito (Armas Cárdenas & Baño Calle, 2013). Desencadenando una problemática social que radica en la necesidad de espacios suficientemente amplios para almacenar estos desechos inorgánicos que no son biodegradables y que representan una amenaza no sólo para el medioambiente, sino también para la salud de las personas (Navas Jaramillo & Mendizábal Bermeo, 2013).

La llanta es un conjunto de componentes que se fabrican y ensamblan con el fin de garantizar su correcto funcionamiento (movilidad y resistencia). Cada uno de los componentes posee una función específica y es constituido por una mezcla particular de materias primas como: caucho, poliéster, pigmentos y antioxidantes como los ácidos grasos (Cruz Chávez, 2012).

La reutilización de llantas no es nueva, se realiza principalmente en parques como parte de los juegos para niños, como maceteros o bordes de caminos, rompe velocidades, rodapiés, mangueras, empaques, reencauches, bolsos, carteas, mochilas y suelas de zapatos (Ochoa, 2012). Lo realmente transformador es convertir la idea en una iniciativa de innovación social, que a futuro pueda generar réditos a quienes a través de la reutilización pueden ofertar productos estéticos, funcionales e innovadores (Castro, 2014).

Otro de los puntos clave del proyecto, se centra en la ausencia de esta clase de iniciativas en la zona 3 del Ecuador. De todos los subproductos a obtener a partir de las llantas, en la zona 3 (Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Pastaza) únicamente en Ambato se realizan bombas sanitarias y reencauches, por lo demás, todas las iniciativas de reutilización se centran en Quito, Guayaquil y Cuenca (Armas Cárdenas & Baño Calle, 2013).

### **Energía solar**

La energía solar absorbida por la Tierra en un año, es equivalente a 20 veces la energía almacenada en todas las reservas de combustibles fósiles en el mundo y diez mil veces superior al consumo actual. El sol es la única fuente de materia orgánica y de energía vital de la Tierra y aunque a veces nos pasa desapercibido, ya hoy estamos utilizando masivamente la energía solar, en forma de alimentos, leña o energía hidroeléctrica (Santamarta, 2006).

De ahí la idea de aprovechar de mejor manera un recurso prácticamente inagotable, en búsqueda de maneras más limpias y sustentables de generar energía, aprovechando las fuentes paténtenles como la radiación solar.

Un Colector Solar Acumulador, es un componente habitualmente utilizado para instalaciones de provisión de agua caliente residencial, realiza la acumulación de la energía a través de la misma agua que se consume y en el mismo lugar de captación de la energía solar por la superficie del colector. (Fasulo, Follari, & Barral, 2002)



El colector casero a emplear fue elaborado bajo el principio del colector plano. Es esencialmente una placa metálica (que puede ser de acero, hierro galvanizado, aluminio o preferiblemente de cobre) que absorbe al máximo la radiación directa (proveniente de disco solar) y también la difusa (proveniente de cielo). La radiación solar después de ser absorbida es transformada en energía térmica (Nandwani, 2005).

### Importancia del problema

El análisis de una propuesta para reutilización, en la zona centro es un concepto, aunque no relativamente nuevo, es en cierto grado estigmatizado, pues se vincula la reutilización de desechos con un incremento injustificado de costos mas que, en un beneficio a corto, mediano y largo plazo, las constantes justificación ambientales y sociales han hecho ver al ciudadano ambiental como una obligación que no me retribuye ningún rédito. Los prototipos desarrollados desafían estas creencias, obeteniendo productos de uso diario, rentables y sostenibles, y a su vez amigables con el ambiente y generadores de bienestar para la sociedad. Resolviendo así, problemas latentes de la sociedad como son la contaminación y la calidad de vida de las personas.

### Metodología

Esta línea de trabajo se integra metodológicamente dentro del campo de la Gestión de la información, el conocimiento y el aprendizaje. En coherencia con los nuevos paradigmas que se abren paso en la gestión de las organizaciones, vinculados a la importancia del aprendizaje para toda la vida, en búsqueda de una cultura de responsabilidad social y ambiental. La propuesta incluye los parámetros de desempeño del proyecto, así como la línea base, puntos de referencia e indicadores (Ortegón & Prieto, 2005).

### Etapas de planificación y organización

Matriz de marco lógico:

La MML es una herramienta para la conceptualización, el diseño, la ejecución, el seguimiento del desempeño y la evaluación de proyectos. Su objetivo es darle estructura al proceso de planificación y comunicar la información esencial sobre un proyecto. (Banco Interamericano de Desarrollo, 2004)

EML es prácticamente el método universal a la hora de gestionar las intervenciones de desarrollo y la mayor parte de su terminología más característica (objetivo específico, resultados, hipótesis o supuestos, etc.). (Camacho, Cámara, Cascante, & Sainz, 2001)

**Tabla 1.**

Matriz de marco lógico

	Lógica de intervención	Indicadores	Medios de verificación	Supuestos
<b>Fin (Objetivo General)</b>	Residuos no biodegradables reutilizados a través de la generación nuevos productos funcionales y a bajo costo.	El prototipo en base a residuos no biodegradables es por lo menos 40% más económico que un producto de similares características en el mercado.	Encuesta	El prototipo no ha demostrado su efectividad técnica y económica.
<b>Propósito (objetivo específico)</b>	Alternativas para generación de productos innovadores desarrolladas.	Se genera por lo menos un proyecto de innovación social en base al prototipo en las empresas del sector, en un periodo de 6 meses.	Modelo base de Vinculación	El proyecto no es aprobado por las empresas del sector

	Lógica de intervención	Indicadores	Medios de verificación	Supuestos
<b>Componentes (Productos)</b>	1. Muebles a partir de llantas desechadas elaborados.			
	2. Energía térmica a partir de un colector solar pasivo hecho a base de parrillas de refrigeradores usados.	Puesta a prueba y aceptación de por lo menos una de las propuestas.	Análisis de la demanda	Los productos generados no resultan atractivos al mercado.
<b>Actividades</b>	1.1 Recopilar y procesar información para la generación del producto.			
	1.2 Asignación de recursos.			
	1.3 Generación del prototipo base.	Costo de investigación de producto: \$100		
	1.3.1 Unión de las llantas.	Costos directos mueble:		
	1.3.2 Colocación de la base y la esponja	Llantas usadas: \$5 Forro cuero: \$7 por metro.		
	1.3.3 Tapizado del mueble	Tapizado: \$5 por unidad		
	1.4 Evaluación de la funcionalidad del producto.	Base tabla triplex: \$20 por plancha Esponja: \$3 por plancha.		
	2.1 Recopilar y procesar información para la generación del producto.	Mano de obra: \$3 por hora.		
	2.2 Asignación de recursos.	Costo de investigación de producto: \$100	Coste por unidad vs. Precio tentativo de venta	Variación abrupta en el costo de materia prima.
	2.3 Generación del prototipo base.	Costos directos Panel:		
	2.3.1 Eliminar el refrigerante que circula por la parrilla.	Parrilla: \$2 Papel aluminio: \$1,12 por rollo (12 metros)		
	2.3.2 Hacer la estructura del colector con las tablas.	Tabla: \$5,00 por doce barras de un metro		
	2.3.3 Colocar la base triplex y el plástico negro.	Base tabla triplex: \$20 por plancha. Mano de obra: \$6 por hora.		
	2.3.4 Colocar la parrilla y las conexiones a la entrada y salida del colector.	Plástico: \$135 por rollo Vidrio: \$10 el metro cuadrado. Sellos y adhesivos: \$5		
	2.3.5 Colocar le vidrio.	Pintura: \$35 en presentación de 4 galones.		
	2.3.6 Sellar el panel.			
	2.3.7 Colocar los soportes del montaje			
	2.4 Evaluación de la funcionalidad del producto.			

### Etapa de evaluación previa

Análisis de macro y micro-entorno: Una de las formas de evaluación más sencilla y fácil de diseñar es la matriz FODA, que permite, estratificar las fortalezas, oportunidades, amenazas y debilidades del proyecto. El análisis FODA consiste en realizar una evaluación de los factores fuertes y débiles que en su conjunto diagnostican la situación interna de una organización, así como su evaluación externa; es decir, las oportunidades y amenazas. También es una herramienta que puede considerarse sencilla y permite obtener una perspectiva general de la situación estratégica de una organización determinada (Talancón, 2006).

**Tabla 2.**  
Matriz FODA

<b>Fortalezas</b>	<b>Debilidades</b>
No se requiere mayor tecnificación para el desarrollo del producto. Apoyo técnico para la generación de los prototipos. Imposición de precios de compra por unidad de neumáticos desechados, haciendo que diferentes personas se conviertan en nuestros proveedores, ya que así podrían obtener una fuente de ingreso para sus hogares.	Incremento excesivo de neumáticos desechados, haciendo que el espacio de almacenamiento sea deficiente. Elevada inversión inicial materia prima, adquiriendo solo lo necesario para una producción reducida. Errónea concepción que puede generarse por desconocimiento del grado de contaminación que incurre el procesamiento de neumáticos, así como el inadecuado tratamiento que se le podría dar a los refrigerantes presentes en la parrilla.
<b>Oportunidades</b>	<b>Amenazas</b>
Impulso al emprendimiento para la puesta en marcha de proyectos innovadores. Incremento de las ventas de autos y repuestos automotrices entre ellos neumáticos en los últimos años. Elevado efecto multiplicador, esencialmente por la escasa producción de este tipo de alternativas en la ciudad.	Posible nacimiento de competencia para reciclaje de neumáticos y parrillas de refrigeradores fuera de uso para su transformación en otros productos. Requerimiento de productos nuevos generados a partir de los mismos recursos para los que no se tiene la capacidad productiva.

**Fuente:** Autores

### Etapa de evaluación

La evaluación es definida como una herramienta de gestión, que nos permite analizar y controlar la ejecución de un proyecto (José & Miranda, 2005).

En esta etapa los prototipos están siendo desarrollados, lo primero a evaluar es la disponibilidad directa de materia prima necesaria para la realización a baja o gran escala de los productos.

Se encontró que, en la ciudad de Riobamba, Provincia de Chimborazo, existen vulcanizadoras y depósitos de neumáticos usados, de ellos, 50% le dan un segundo uso a través de la reprocesamiento, por los demás destinan los neumáticos a la quema al aire libre, debido al excesivo espacio que ocupan; por tanto, la disponibilidad de neumáticos es alta.

La disponibilidad de madera es alta, tanto en plantas recicladoras como en distribuidores mayoristas se encontró el tipo de tabla empleada, existe variación en el costo del distribuidor vs. el centro de acopio, pero la limitación es que en el centro de acopio no se encuentra siempre la madera en las dimensiones requeridas, por lo que una adaptación podría significar costos adicionales.

El cuero, papel aluminio, esponja y plástico son de fácil adquisición, en variedad y color a elegir.

La mano de obra de los prototipos serán los ejecutores del proyecto.

Bajo evaluación previa el proyecto es sostenible.

### **Estudios de factibilidad y oportunidad para la implementación de un programa de producción más limpia**

Factibilidad es el grado en que lograr algo es posible o las posibilidades que tiene de lograrse (Luna & Chaves, 2012).

Para llevar a cabo un estudio de factibilidad proyecto de inversión se requiere, por lo menos, según la metodología y la práctica vigentes, de la realización de tres estudios: Estudio de mercado, Estudio técnico, Estudio económico-financiero (Santos, 2008).

#### **Estudio de mercado**

**Tabla 3.**

Estudio de mercado mueble de llantas

#### **Puff de llantas**

<b>Oferta</b>	<b>Demanda Potencial</b>	<b>Competencia</b>
Se pueden elaborar hasta seis muebles por día con una producción mensual de 150.	Población económicamente activa del Cantón Riobamba: 76113	Entre 20 – 30 mueblerías y distribuidores de muebles

Análisis: Demanda supera ampliamente a la oferta, existe amplia competencia, se espera ventaja competitiva en el costo y calidad del producto.

**Fuente:** INEC, 2008

**Elaborado:** Autores

**Tabla 4.**

Estudio de mercado panel solar

#### **Panel solar**

<b>Oferta</b>	<b>Demanda</b>	<b>Competencia</b>
Se pueden elaborar hasta dos paneles por día con una producción mensual de 40.	Número de viviendas ocupadas cantón Riobamba: 48668	Tres distribuidores de paneles solares y térmicos.

Análisis: Demanda supera ampliamente a la oferta, existe poca competencia, se espera ventaja competitiva en el costo y calidad del producto.

**Fuente:** INEC, 2008

**Elaborado:** Autores

## Estudio Técnico

**Tabla 5.**  
Tamaño del proyecto  
**Tamaño del Proyecto**

---

En la etapa inicial, la producción es eminentemente artesanal, teniendo una producción tal cual se detalla a continuación:

Mueble de llantas:

- Capacidad Máxima: 8 por día
- Capacidad mínima: 4 por día.
- Capacidad promedio: 6 por día

Panel solar:

- Capacidad máxima: 3 por día. (trabajando una hora extra)
- Capacidad mínima: 1 por día
- Capacidad promedio: 2 por día

**Fuente:** Autores

**Tabla 6.**  
Localización  
**Localización**

---

País: Ecuador

Zona: Zona 3

Provincia: Chimborazo

Cantón: Riobamba

Parroquia: Lizarzaburu

Lugar: Talleres PYMES Chimborazo

Facilidad de infraestructura: Zona urbana y con acceso a todos los servicios básicos.

Acceso a materias primas: Vías de acceso buenas, distribuidores dentro del perímetro urbano.

Condiciones ambientales: Estables, sin humedad, pero existe presencia de material particulado en suspensión (polvo)

Disponibilidad de fuerza de trabajo: Alta

Preservación al medio ambiente: Alta, con planes que incluyen 3R.

**Fuente:** Autores

**Tabla 7**  
Ingeniería del proyecto  
**Ingeniería del Proyecto**

Tecnología: Inicialmente el proyecto es netamente artesanal por lo que no se requieren equipos de mecanizado, el único proceso que incluye maquinaria es el tapizado y eso lo realiza una empresa contratada.

Obras de ingeniería civil: En un inicio se empleará las instalaciones de las empresas que decidan integrarse al proyecto. En caso de multiplicarse el proyecto se establecerá un costo por infraestructura.

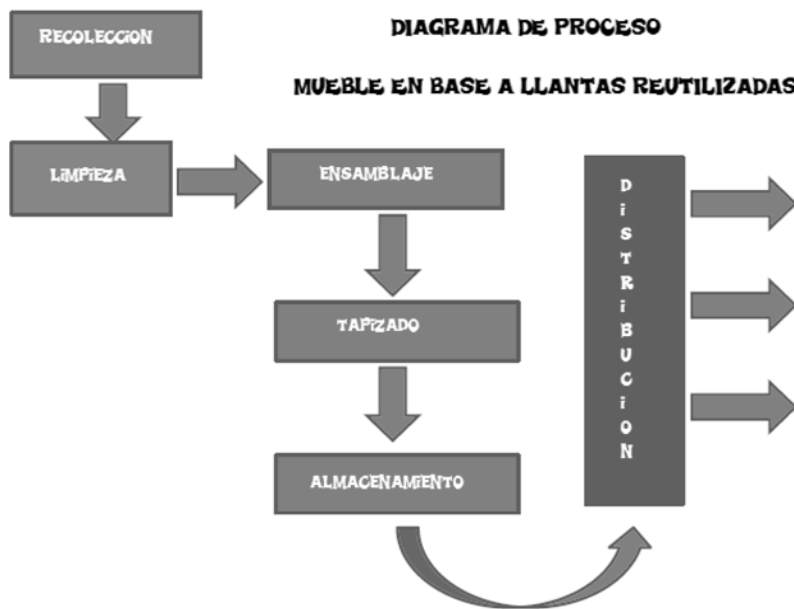
Servicios públicos: Consumo básico de electricidad (lámparas fluorescentes para iluminación de taller), el consumo de agua es limitado (uso sanitario). Por encontrarse en instalaciones de la institución, esta asume el rubro de manera mensual.

Mano de obra: Se requiere 3 obreros con conocimiento básico de carpintería. El costo por hora por obrero es de \$3,00

Análisis de insumos: Materia prima

Mueble en base a llantas:		Panel Solar:	
- 2 llantas:	\$10,00	- Parrilla de refrigerador:	\$2,00
- Forro:	\$7,00	- Papel aluminio:	\$1,12
- Base tabla:	\$3,33	- Barras de madera:	\$5,00
- Esponja:	\$0,75	- Base tabla:	\$0,75
- Materiales auxiliares	\$0,80	- Plástico negro:	\$2,25
- Suministros de fábrica:	\$1,00	- Vidrio	\$7,00
		- Materiales Auxiliares	\$3,00
		- Suministros de fábrica:	\$1,00
<b>Total, por unidad:</b>	<b>\$22,88</b>	<b>Total por unidad:</b>	<b>\$22,12</b>

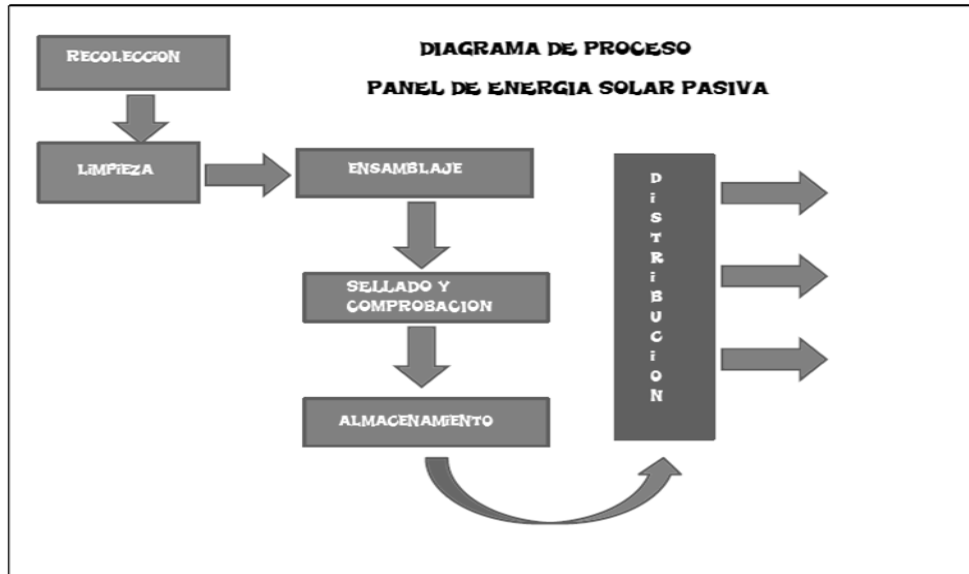
Fuente: Autores



**Figura 1.**

Diagrama de proceso del mueble en base a llantas reutilizadas

Fuente: Autores



*Figura 2.*

Diagrama de proceso del panel de energía solar pasiva

**Fuente:** Autores

### **Estudio financiero**

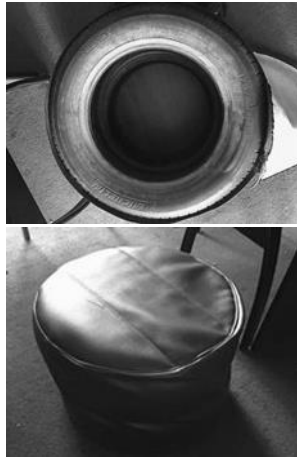
El estudio financiero aún no se efectúa de manera real, mientras el proyecto se encuentre bajo responsabilidad de la institución educativa, no se podrá lucrar del producto final obtenido. Una vez que la idea de negocio sea presentada y aprobada como proyecto de innovación social y a través de fuentes externas, se planteará bajo condiciones reales y estudio de oferta y demanda que permita costear el producto con infraestructura y tecnificación adecuada, para una producción a mayor escala, determinando además el punto de equilibrio, TIR, VAN, etc.

### **Acciones tomadas para la elaboración de productos**

- Selección y adquisición de la materia prima e insumos necesarios.
- Disposición inicial de montaje.

Para Puff en base a llantas:

- Recolección de llantas de los centros de acopio y demás insumos requeridos.
- Limpieza de las llantas
- Colocar de forma horizontal las llantas
- Sobreponer dos en forma horizontal, fijarlos con alambre grueso.
- Colocar la base de madera para el asiento.
- Colocar la esponja sobre la base y adherirla
- Tapizar el mueble



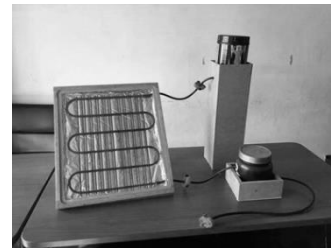
*Figura 2.*

Prototipo del mueble

**Fuente:** Autores

Para el panel solar pasivo:

- Recolección de la parrilla de los centros de acopio y demás insumos requeridos.
- Eliminar el refrigerante que circula por la parrilla.
- Hacer la estructura del colector con las tablas.
- Colocar la base triplex y el plástico negro.
- Colocar la parrilla y las conexiones a la entrada y salida del colector con los recipientes de entrada y salida de fluido.
- Colocar le vidrio.
- Sellar el panel.
- Colocar los soportes del montaje.



*Figura 3.*

Prototipo del Panel Solar

**Fuente:** Autores

### **Resultados y Discusión**

El mueble en base a neumáticos es realizado en un tiempo promedio de una hora, incluyendo el tiempo tomado en formar el tapiz. El Costo aproximado de fabricación es \$30,00; pero el costo se puede reducir al adquirir la materia prima al por mayor. El precio de una unidad de este tipo (puff) está alrededor de \$75, por lo que con un margen de ganancia del 15% el producto es muy competitivo. Modificando el diseño, lo que implicaría la omisión del tapiz y el lugar de ello la decoración directa de las llantas también podría generar nuevos productos con una reducción del costo productivo.

El panel solar tarda algo más de tres horas para su construcción, el sellado es esencial para una buena transmisión y conservación del calor, el costo fue alto dado que se compró lo necesario para realizar por lo menos tres paneles pues los distribuidores no venden siempre material como la esponja por medidas. Pero el costo se reduce significativamente al hacer más de uno. El panel solar comercial cuesta por sobre los \$1000; por lo que la rentabilidad del producto es amplia (por sobre el 100%). El inconveniente es el tiempo de conservación de calor, pero esto se resolvería modificando el tipo de recipientes del colector, los recipientes empleados actualmente son de base polímero, y tiene una capacidad de retención de calor de dos horas tras haberse ocultado el sol.



## Conclusiones

- Los dos proyectos son viables y sostenibles a mediano y largo plazo, dado existe la disponibilidad de materias primas, el acceso a los recursos necesarios no es complejo y la factibilidad económica y técnica es alta para los dos productos.
- Contribuyen significativamente a la generación de una cultura de reutilización, pues antes de la generación de prototipos los centros de acopio y vulcanizadoras desconocían de las soluciones innovadoras que le podían dar a sus productos, en especial a la parrilla del refrigerador.
- Se redujo la cantidad de producto no biodegradable expuesto al aire libre, ya que al no existir conocimiento de reutilización y recicla los residuos seguirían contribuyendo a la ya alta contaminación ambiental.

## Agradecimiento

Un sincero y sentido agradecimiento a todos aquellos pequeños emprendimientos que realizan la noble labor de reciclaje y reutilización de productos. A mi Coautor, por la asistencia y enorme ayuda prestada, así como a ASEINMA, por motivar la innovación en los jóvenes investigadores.

## Referencias

- Armas Cárdenas, Juan José & Baño Calle, Nathalia Magdalena (2013). *Estudio de factibilidad para la fabricación y comercialización de productos en caucho reciclado de llantas usadas (adoquines de caucho, vinil de caucho, etc.)*. Quito, Ecuador.
- Banco Interamericano de Desarrollo (2004). *Marco lógico para el diseño de proyectos*. Washington, DC, Estados Unidos
- Camacho, Hugo, Cámara, Luis, Cascante, Rafael & Sainz, Héctor (2001). *El enfoque del marco lógico: 10 casos prácticos. Cuaderno para la identificación y diseño de proyectos de desarrollo*. Madrid, España: Fundación CIDEAL.
- Castro, Andrea Picado (2014). *Cómo identificar grupos beneficiarios que logren fabricar muebles con base en llantas de desecho generando emprendedurismo social*.
- Cruz Chávez, Christian Aníbal (2012). *Plan de negocios de reciclado de llantas usadas como oportunidad de negocios, en la utilización de productos innovadores*.
- Fasulo, Amílcar, Follari, Jorge, & Barral, Jorge (2002). Un nuevo colector solar acumulador. *Energías renovables y medio ambiente*, 10, pp. 43-49.
- Luna, Rafael, & Chaves, Damaris. (2012). *Guía para elaborar estudios de factibilidad de proyectos ecoturísticos*.
- Miranda, José, Miranda Juan & Miranda, Miranda (2005). *Gestión de Proyectos: Identificación–formulación evaluación financiera–económica–social–ambiental*. MM Editores, Bogotá, Colombia.
- Nandwani, S. (2005). *Energía solar. Conceptos básicos y su utilización*. Universidad Nacional, Heredia (Costa Rica). Jun.

Navas Jaramillo, Eduardo Sebastián & Mendizábal Bermeo, Diego Esteban (2013). *Estudio de factibilidad y de mercado para una planta de reciclaje de neumáticos usados en la ciudad de Quito, Ecuador*.

Ochoa, Beatriz, Elena Marín. (2012). En favor del medio ambiente: De llanta vieja a carbón activado. *Universitas Científica*, 15(1).

Ortegón, Edgar, & Prieto, Adriana (2005). *Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas* (42): United Nations Publications.

Santamarta, José (2006). *Las energías renovables son el futuro*.

Santos, Tania Santos (2008). Estudio de factibilidad de un proyecto de inversión: etapas en su estudio. *Contribuciones a la Economía*, noviembre. Publicación seriada ISSN, 16968360.

Talancón, Humberto Ponce (2006). La matriz FODA: una alternativa para realizar diagnósticos y determinar estrategias de intervención en las organizaciones productivas y sociales. *Contribuciones a la Economía*, 2.

## Variación en el contenido del principio activo en manzanilla y matico

**Arquímedes Haro**

Universidad Nacional de Chimborazo  
aharo@unach.edu.ec

**Paul Stalin Ricaurte Ortiz**

Universidad Nacional de Chimborazo  
pricaurte@unach.edu.ec

**Fernando Molina Granja**

Universidad Nacional de Chimborazo  
fmolina@unach.edu.ec

### Resumen

El propósito de esta investigación es analizar el grado de variación del contenido del principio activo (apigenina 7-glucosido) en la manzanilla (*Matricaria chamomilla*) y matico (*Buddleja globosa*) fresco y deshidratado, cuyo problema es que la población tiene la tendencia de consumir plantas medicinales procesadas o productos sintéticos dejando de lado la medicina tradicional herbolaria y se pretende rescatar los valores ancestrales y evaluar la efectividad de las plantas medicinales de manera natural frente a las procesadas, además de determinar si existen pérdidas de los principios activos durante el proceso de deshidratado, la materia prima fue adquirida de las parcelas de la asociación Jambi kiwa ubicada en la provincia de Chimborazo. En esta investigación se aplica exclusivamente métodos de extracción (maceración y agitación en un medio alcohólico); para su identificación y cuantificación se utilizó la prueba de Shinoda, técnica de cromatografía y espectrofotometría UV-visible. En la identificación por cromatografía en capa fina del principio activo (Apigenina 7-glucosido) de los extractos se obtuvieron  $R_f$  de 0,69, similar al estándar por lo que se concluye que este principio activo está presente tanto en la manzanilla como en el matico. Los resultados de apigenina obtenida en las muestras frescas y deshidratadas de las plantas medicinales expresadas en base seca, presentan los siguientes porcentajes: en planta fresca se obtuvo 1,2 %, en deshidratada a 40°C y 70°C el contenido de apigenina es de 0.53 % y 0.52% respectivamente. En el matico el porcentaje de apigenina en fresco es de 0,27%, es muestra deshidratada a 40°C y 70 °C es de 0.074 % y 0.079% respectivamente. Con los resultados anteriores se concluye que existe una pérdida del principio activo al deshidratar de un 56% en la manzanilla y de 70% en el matico.

**Palabras Claves:** Apigenina, 7-glucosido, Manzanilla, Matico.

### Abstract

The aim of this research was to analyze the degree of variation of the content of the active ingredient (apigenin 7-glucoside) in fresh and dehydrated maize (*Matricaria chamomilla*) and matico (*Buddleja globosa*), whose problem is that the population tends to consume Processed medicinal plants or synthetic products leaving aside the traditional herbal medicine and it is tried to rescue the ancestral values and to evaluate the effectiveness of the medicinal plants of natural way against the processed ones, besides to determine if there are lost of the active principles during the process of Dehydrated, the raw material was acquired from the plots of the association Jambi kiwa located in the province of Chimborazo. In this research, only extraction methods (maceration and agitation in an alcoholic medium) were used for identification and quantification.

The shinoda test, chromatography technique and UV-visible spectrophotometry were used. In the identification by thin layer chromatography of the active principle (Apigenin 7-glucoside) of the extracts Rf of 0.69 similar to the standard was obtained, which concludes that this active principle is present in both chamomile and matico. The results of apigenin obtained in the fresh and dehydrated samples of the medicinal plants expressed in dry basis have the following percentages: in fresh plant was obtained 1.2%, in dehydrated at 40 ° C and 70 ° C the content of apigenin is of 0.53% and 0.52% respectively. In the matico the percentage of fresh apigenin is 0.27%, it is dehydrated sample at 40°C and 70°C is 0.074% and 0.079% respectively. With the previous results it is concluded that there is a loss of the active principle when dehydrating of 56% in the chamomile and 70% in the matico.

**Keywords:** Apigenin, 7-glucoside, Chamomile, Matico.

### Introducción

El Ecuador es un país reconocido por sus recursos productivos, uno de ellos son las plantas medicinales, las tendencias de la producción de plantas medicinales se han ido incrementando en estos últimos años en la provincia de Chimborazo, lo que muestra el aporte en el avance económico para el país.

La salud intercultural manifestada por los actores ancestrales, llamados así a los médicos naturistas indígenas de nuestro sector, ha recabado mucha experiencias que ha sido recibido por sus antecesores, donde se observa preferencias de uso de algunas plantas medicinales, que lo utilizan como planta fresca o deshidratada preparándole de distintas formas: infusiones, té, aceites, extractos, cápsulas, procedimientos que se aplican en las dolencias por personas que conocen las plantas medicinales.

Según datos obtenidos del proyecto “Determinación de principios activos presentes en plantas medicinales de uso ancestral en la provincia de Chimborazo”, se determina que las plantas medicinales más utilizadas son la Manzanilla y el Matico en un 52,40% y 51,20% respectivamente.

El objetivo de esta investigación es conocer si existe variación en el contenido del principio activo (apigenina) en manzanilla y matico, al deshidratar, al realizar un análisis comparativo del grado de variación del contenido del principio activo (apigenina-7glucósidos) en planta fresca y deshidratada.

### Materiales y métodos

La metodología utilizada en el proyecto de investigación se encuentra basada en la presentación de datos de análisis cualitativos y cuantitativos, como la determinación del porcentaje de rendimiento durante el deshidratado de las materias primas y del producto terminado y cuantitativos, como la cantidad de principio activo presente en las muestras después del proceso de deshidratado, datos obtenidos de las cromatografías los cuales fueron analizados aplicando estadística descriptiva.

Las plantas seleccionadas para desarrollar los análisis son la manzanilla (**Matricaria chamomilla**) con 42 g de muestra y matico (**Buddeja globosa**) con 43g de muestra (Abu-Yousif, 2008).

El deshidratado se realizó en el secador de bandejas, las extracciones se realizaron por maceración y agitación con las plantas frescas y deshidratadas, la identificación cualitativa de la apigenina se obtuvo mediante cromatografía de capa fina, además se determinó el porcentaje de rendimiento durante el deshidratado, se identificó también a través de la prueba de Shinoda, la cuantificación de la apigenina: se realizó por espectro

fotometría UV-Visible, para poder determinar el contenido de apigenina7-glucosido en las diferentes muestras, se aplica la técnica espectrofotométrica UV-visible. Todos estos procedimientos realizados en los laboratorios de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Se aplicó exclusivamente las siguientes técnicas y métodos:

- 1) Método de extracción por maceración y agitación.
- 2) Técnica cromatográfica, con la utilización del método de cromatografía de capa fina.
- 3) Técnica de espectro fotométrica en la región UV-Visible.

Los materiales, equipos y reactivos utilizados en los tres procedimientos fueron:

- Materiales: Pipetas, Balones de 25 ml, Erlenmeyer, Varillas de agitación, Embudo, Probetas, Magnetos, Vasos de precipitación, Tubos de ensayo.
- Equipos: Plancha de calentamiento y agitadora, Secador de bandejas, Equipo de filtrado al vacío, Refrigerador, Balanza analítica, Espectrofotómetro UV-1603 (Shimadzu), Celdas de cuarzo, Placas cromatografías de sílica, gel de plástico, Soxhlet, Rota vapor, Termo balanza.
- Reactivos: Estándar Apigenina 99% de pureza, Etanol, Éteretílico, Limaduras de magnesio, Ácido clorhídrico concentrado (HCl), Acetato de etilo, Ácidofórmico, Ácido acético glacial, Agua destilada, N-butanol, ÁcidoAcético, Metanol, Cloroformo, Vainillina (Játiva, 2004).

Para elaborar la curva de calibración se aplicó el procedimiento descrito por Tong.

## Resultados y discusión

Los resultados obtenidos en la presente investigación se detallan a continuación:

### Identificación flavonoides

La determinación cualitativa de flavonoides totales se realizó mediante la reacción de Shinoda; la tabla 1 y 2 muestra los resultados obtenidos. La reacción se considera positiva por la aparición de coloración naranja cuya intensidad se valorará por cruces.

**Tabla 1.**

Reacción de Shinoda para determinación cualitativa de flavonoides en manzanilla.

	Repetición	Duplicado	Reacción positiva	Intensidadde La reacción
MANZANILLA FRESCA	1	1	+	**
		2	+	**
	2	1	+	**
		2	+	**
	3	1	+	**
		2	+	**
MANZANILLA DESHIDRATADA40°C	1	1	+	***
		2	+	***
	2	1	+	***
		2	+	***
	3	1	+	***
		2	+	***

Repetición	Duplicado	Reacción positiva	Intensidadde La reacción	
MANZANILLA C DESHIDATADA70°	1	1	+	***
		2	+	***
	2	1	+	***
		2	+	***
	3	1	+	***
		2	+	***

Fuente: Autores

**Tabla 2.**

Reacción de Shinoda para determinación cualitativa de flavonoides en matico

	Repetición	Duplicado	Reacción positiva	Intensidadde la reacción
Matico Fresco	1	1	+	*
		2	+	*
Matico Deshidratado a 40°C	1	1	+	*
		2	+	*
Matico Deshidatado a 70°C	1	1	+	*
		2	+	*

Fuente: Autores

#### Interpretación de la reacción:

\*Anaranjado pálido,

\*\*Anaranjado

\*\*\*Anaranjado encendido,

\*\*\*\*Anaranjado intenso)

En las tablas 1 y 2, se pueden observar que en todas las muestras analizadas mediante el método de shinoda para determinación de la presencia de flavonoides, a diferentes temperaturas tanto en manzanilla como en matico da una coloración anaranjada y anaranjado pálido respectivamente, lo cual verifica la presencia de los mismos. La apigenina es un tipo de flavonoide potente inhibidor de CYP2C9, 3 una enzima responsable del metabolismo de muchos fármacos en el cuerpo.

#### Análisis de resultados de la cromatografía en capa fina

Por medio de la experimentación se demostró que las siguientes **fases móviles** definen de mejor manera las manchas de apigenina 7 glucósidos en los extractos:

1.- 40 ml de acetato de etilo, 8 ml ácido acético, 8 ml agua destilada, 4ml de metanol

2.- 12 ml n-butano l, 6 ml ácido acético, 35 ml de agua.

#### Análisis Espectrómetro Uv- visible

##### Curva de calibración

Para realizar la curva de calibración se realiza de acuerdo a la metodología descrita por Tong 2007, el espectro del estándar, en el que se observa tres picos, tabla3, el pico que mayor absorbe es en una absorbancia de 390nm que es el que se tomará para realizar la curva y leer las muestras (Skoog A. D, 2001).

**Tabla 3.**

Lectura de la solución madre apigenina 7 glucósido de absorbancia

$\lambda$ (nm)	ABS
390	1.5383
321	0.7346
274	1.0919

Fuente: Autores

**Tabla 4.**

Lecturas en Espectrofotómetro (UV) de las bandas del extracto de manzanilla fresca y deshidratada

Repetición	Duplicado	$\lambda$ (nm)		
		Manzanilla fresca	Manzanilla 40°C	Manzanilla 70°C
1	1	372	366	381
		262	262	268
	2	371	367	369
		262	260	268
2	1	389	376	380
		270	268	268
	2	373	378	381
		270	269	269

Fuente: Autores

Las absorbancias obtenidas de cada una de las muestras de manzanilla, se encuentran en los rangos de los picos representativos del estándar apigenina 7 glucósido por lo que se demostró que en la manzanilla existe apigenina.

**Tabla 5.**

Lecturas en Espectrofotómetro (UV) de las bandas del extracto de matico.

Repetición	Duplicado	$\lambda$ (nm)		
		Matico fresca	Matico 40°C	Matico 70°C
1	1	366	-	344
		-	-	-
	2	-	-	-
2	1	368	344	-
		307	-	-
	2	-	364	344
		-	-	-

Fuente: Autores

**Cuantificación de apigenina 7-glucósido en las muestras**

**Tabla 6.**

Cuadro comparativo de concentración de las partes de la manzanilla

<b>Partes demanzanilla deshidratadaa70C</b>	<b>Concentración%</b>
Flor amarilla	1.44
Flor blanca	1.04
Hojas y tallo	0.50

**Fuente:** Autores

Con este análisis comparativo se demostró que en la flor amarilla existe un mayor porcentaje de apigenina y que en la flor blanca, en las hojas y el tallo existe un porcentaje menor.

En la tabla7, se evidencia el resumen de concentraciones de la manzanilla a 40°C y 70°C

**Tabla 7.**

Resumen de Concentración

<b>Manzanilla</b>	<b>Fresca</b>	<b>40°C</b>	<b>70°C</b>
	<b>(g/100gmuestra)</b>		
Basehúmeda	0.15	0.41	0.48
Baseseca	1.21	0.53	0.52

**Fuente:** Autores

En la tabla 8, se evidencia el resumen de concentraciones del matico.

**Tabla 8.**

Resumen de concentración de matico

<b>Matico</b>	<b>Fresca</b>	<b>40°C</b>	<b>70°C</b>
	<b>(g/100gmuestra)</b>		
Base húmeda	0.030	0.085	0.083
Baseseca	0.27	0.079	0.074

**Fuente:** Autores

Al analizar las concentraciones en base seca en las muestras, podemos decir que al deshidratar perdemos concentraciones de apigenina 7-glucosido, ya que en la planta fresca tenemos 1,21g/100g de muestra y en el matico 0,27 g/100g de muestra al deshidratarse reduce en el extracto de manzanilla al 0.52g/100g de muestra y en matico 0,079 g/100g de muestra.

### **Agradecimiento**

Los autores hacen un agradecimiento especial a la Universidad Nacional, de Chimborazo, a la carrera de Ing. Agroindustrial y a todos los estudiantes que ha través de prácticas, investigación formativa y proyectos de Tesis han colaborado en la realización de esta investigación, especial mención y reconocimiento a Karina Lara y Paola Carrasco por su invaluable aporte.

### **Conclusiones**

- El deshidratado en las plantas medicinales se realizó a 40°C y a 70°C, en un tiempo de 2 y 4 horas respectivamente, en el caso de la manzanilla, para el caso del matico en un tiempo de 1, 5 y 3 horas



respectivamente.

- En la identificación por cromatografía en capa fina del principio activo (Apigenina 7-glucosido) de los extractos se obtuvo Rf de 0,69 similar al estándar, por lo que se concluye que este principio activo está presente tanto en la manzanilla como en el matico.
- En la cuantificación por espectrofotometría UV-Visible, las muestras de manzanilla y matico definieron el pico característico en las lecturas obtenidas dentro del rango de longitud de onda de 390 nm, se concluye que contiene apigenina las dos plantas.
- La reacción de Shinoda para la determinación cualitativa de flavonoides practicada en la manzanilla y matico es positiva para todas las extracciones vegetales muestreadas, lo que nos permite concluir que la investigación bibliográfica realizada para la técnica y que señalaba presencia de flavonoides en las plantas citadas (Skoog A. D, 2001), coincide con los resultados obtenidos en la investigación experimental.
- Los resultados de apigenina obtenida en las muestras frescas y deshidratadas de las plantas medicinales, expresadas en base seca presentan los siguientes porcentajes: en planta fresca se obtuvo 1,2 %, en deshidratada a 40°C obtuvo un 0.53% y en 70°C un 0.52%. En el matico el porcentaje de apigenina en fresco es de 0,27%, en la muestra deshidratada a 40°C es de 0.074 y a 70 °C 0.079%.
- Con los resultados anteriores se concluye que existe una pérdida del principio activo al deshidratar de un 56% en la manzanilla y de 70% el matico
- Todas las partes de la planta de manzanilla contiene apigenina 7- glucosido, con un alto contenido en la flor amarilla. En el matico se encuentra principalmente en la flor amarilla

#### Referencias

- Abu-Yousif (2008). *Apigenin 7-Glucosido, enhancement of UVB-Induced apoptosis by apigenin in human keratinocytes and organotypic keratinocyte cultures.*
- Asociación Española para la Cultura, el Arte y la Educación. (ASOCAE ONGD) (s.f). *Natureduca.* Recuperado de [http://www.natureduca.com/med\\_usos\\_secado2.php](http://www.natureduca.com/med_usos_secado2.php)
- Backhouse, N. (2007). Analgesic, antiinflammatory and antioxidant properties of *Buddleja globosa* Hope, Buddlejaceae. *Journal of Ethnopharmacology.*
- BID (2014). Desarrollo regional y local y la cooperación transfronteriza. *Integración & Negocios, 155.*
- BID (2015). *Informe macroeconómico de América Latina y El Caribe.* BID.
- Játiva, C. (2004). *Texto básico de Farmacognosia de los vegetales a las medicinas.* Riobamba, Ecuador: Docucentro ESPOCH. .
- Lock, O. (1994). *Fitoquímica: Métodos en el estudio de productos naturales.* Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- Lopatinsky A., G. A. (2003). *Plantas medicinales para potencial su producción y exportación en el Ecuador.* Guayaquil, Ecuador: ESPOL. Instituto de Ciencias Humanísticas y Económicas.

Pardo F. (1997). Un nuevo glucósido de Budeja globosa con actividad bactericida. *Boletín de la Sociedad Chilena de Química*. Chile, Santiago de Chile

Skoog A. D, H. J. (2001). *Principios de análisis instrumental*. 5ª ed. Madrid, España: Mc Graw Hill.

Tong, X. (2007). *Apigenin, apigenin prevents UVB-Induced cyclooxygenase, RNA stabilization and translational inhibition*. Mol Cell Biol.

# Cámara termo retráctil con sistema SCADA y registro de producción autónomo

**Jhonny Orozco Ramos**

Escuela Superior Politecnica de Chimborazo  
ingimorozco@gmail.com; jhonny.orozco@espoch.edu.ec

**Eduardo García Cabezas**

Escuela Superior Politecnica de Chimborazo  
e\_garcia@espoch.edu.ec

**Carlos Santillán Mariño**

Escuela Superior Politecnica de Chimborazo  
csantillan\_m@espoch.edu.ec

## Resumen

El modelo presentado es una cámara termo retráctil funcional, con un bajo consumo de energía, y que le brinde al usuario flexibilidad para su operación y versatilidad que se adapte a sus necesidades. La implementación de cámara termo retráctil cuenta con un controlador lógico programable PLC de la marca Siemens el S7-1200, dos sistemas HMI, un Touch Pannel y una interfaz programada en LabVIEW, en las cuales están almacenados la programación del proceso y la simulación de los actuadores y pulsadores para el control eficaz del proceso para emitir las respuestas del estado de funcionamiento como adecuado o no. Los dos sistemas HMI están intercomunicados mediante un modem, esto permite que los sistemas no requieran necesariamente estar instalados junto al equipo; esta tecnología instalada en el módulo, permite operar la cámara sin presencia del operador, ventaja que ofrece el equipo al trabajador lográndose evitar el estrés térmico, efecto de los cambios bruscos de temperatura existentes en el proceso así como, los daños musculares en las articulaciones del operario efecto de los movimientos repetitivos. La cámara termo retráctil cuenta con un sistema SCADA acoplado a un registro de producción, que permite el conteo automático de material de ingreso y de los envasados en la salida.

**Palabras claves:** HMI, Proceso, Termo-retráctil, LabVIEW, SCADA

## Abstract

The model presented is a functional thermo shrinkable chamber, with low energy consumption, and that gives the user flexibility for its operation and versatility to adapt to its needs. The thermo retractable camera implementation has a PLC programmable logic controller of the Siemens brand S7-1200, two HMI systems, a Touch Pannel and a programmed interface in LabVIEW, in which are stored the process programming and the simulation of the Actuators and pushbuttons for efficient process control to issue operating status responses as suitable or not. The two HMI systems are intercommunicated by means of a modem, this allows the systems do not necessarily need to be installed next to the equipment; This technology installed in the module, allows the operation of the camera without the presence of the operator, an advantage offered by the equipment to the worker, avoiding the thermal stress, the effect of sudden changes in temperature in the process as well as the muscular damages in the joints of the Operative effect of repetitive motions. The thermo shrink chamber has a SCADA system coupled to a production record, which allows automatic counting of input material and packaging at the output.

**Keywords:** HMI, Process, Thermo-retractable, LabVIEW, SCADA

### Introducción al problema

La aplicación específica representa un Sistema para la supervisión, control y adquisición de datos de un proceso (SCADA) de empaquetado por acción termo retráctil, implementado con la el fin de reflejar en éste, la automatización industrial integrada de procesos, en los cuales además de los componentes del proceso relacionaremos también la parte de adquisición de datos y la integración de estos hacia sistemas superiores de administración basados en plataformas de bases de datos para registrar la información de producción.

### Importancia del problema

La cámara termoretráctil con registro de producción autónomo es un sistema automatizado integral de mucha utilidad en la industria y la modernidad apunta a los sistemas automátas que vinculado con sistemas mecánicos logra mejorar el proceso, precautelando la integridad al operario y salvaguarda la salud del mismo maximizando la producción de la empresa o industria, siendo un ejemplo primordial para relacionar la integración de la universidad con la industria y muestra un claro ejemplo de emprendimientos que pueden ayudar a todos los sistemas productivos del país generando fuentes laborales y soluciones prácticas en diversas áreas.

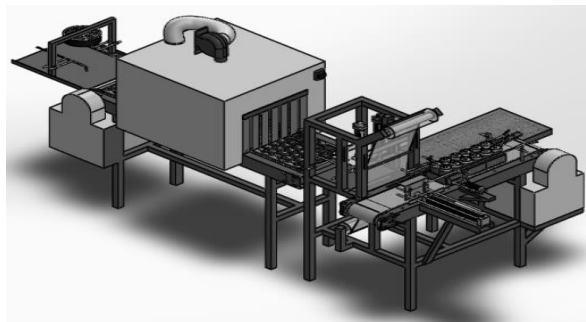
### Metodología

La metodología que se aplica en el registro de producción autónomo consta de las siguientes etapas:

- Establecer los requisitos de la cámara termoretráctil
- Diseño en un software CAD
- Analisis estructural, térmico y ensamble de las partes
- Diagrama y conexiones de los circuitos eléctricos, neumáticos y térmicos
- Declaración de variables para el sistema SCADA
- Establecer el sistema SCADA
- Realizar el registro de producción autónomo.

Según la metodología aplicada la cámara termoretráctil fue modelada en Solidwork como se muestra en la Figura 1, dando forma al módulo para satisfacer a nuestras expectativas y tener una aproximación a lo que sería nuestra implementación real, tomando en cuenta los siguientes parámetros de diseño:

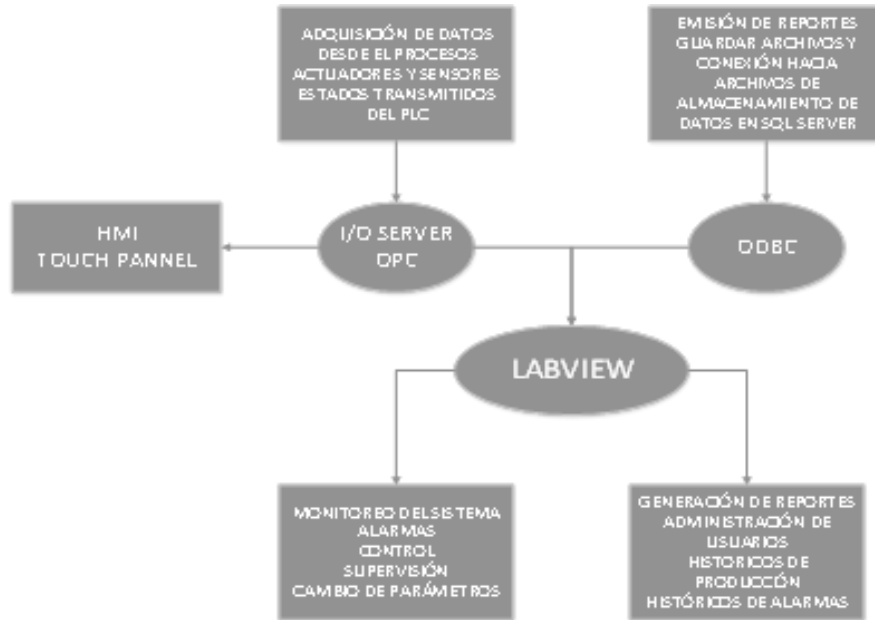
- Envase de plástico: 15 cm x 35 cm de diámetro
- Masa de los envases llenos: 0.3 Kg
- Horas de trabajo: 4 horas hasta 8 horas diarias



**Figura 1.**

Estructura del módulo en solidworks para el empaquetado termo retráctil. (Escobar y Tobar, 2015, p 17.)

Evaluando las necesidades y el propósito de nuestro proceso se realiza la selección de la parte de hardware y software requerido para cumplir el objetivo y la obtención del sistema SCADA descrito en el esquema de la Figura 2 para posteriormente conseguir el registro automático de la producción diaria.



**Figura 2.**

Registro autónomo de producción y sistema SCADA de la Cámara Termoretráctil

El proceso de automatización realizado incluye como elementos principales una parte mecánica, dispositivos electrónicos que sirven de cerebro para la máquina, mismo que al trabajar en armonía proporcionan el correcto funcionamiento del sistema y registros de las jornadas laborales.

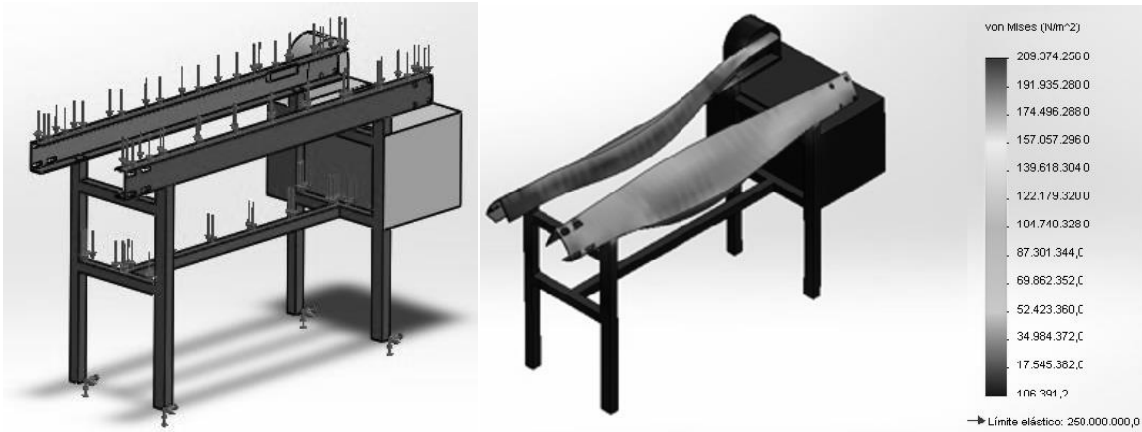
El sistema de control centralizado cuenta con el PLC S7-1200 de Siemens, específicamente el CPU 1214 AC/DC/RELÉ, por su capacidad a la hora de centralizar procesos considerando su número de entradas, salidas y sus expansiones, además maneja protocolo TCP/IP sobre interfaz de Ethernet, que ayudado de un router casero facilita la comunicación con el HMI Touch Panel, una pantalla táctil de 4 pulgadas con 4 teclas táctiles (KTP-400 tipo monocromática) y con la aplicación elaborada en LabVIEW, donde se realiza el monitoreo de sensores, actuadores y el control de todo el sistema termoretráctil.

El desarrollo de la parte administrativa está soportado bajo la plataforma de SQL Server como motor de bases de datos para almacenamiento de usuarios, informes, reportes y registro de producción.

## Resultados

### Modelado en un software CAD

Cada uno de los elementos que conforman la cámara térmica, la bancada, los sistemas de transporte y caja térmica son modelados en SolidWorks para tener las medidas exactas de cada una de las piezas y el material en el que se va a construir, una de las partes más sensibles es la bancada por lo que procede a realizar un análisis estático poniendo una fuerza distribuida con concentraciones en los puntos de unión de esta manera se determina el esfuerzo máximo que soportará la estructura metálica.



**Figura 3.**

Fuerzas aplicadas a la estructura y resultado del estudio estático. (Escobar y Tobar, 2015, pp. 18 -19)

Con el estudio estático y la variación de probabilidades en espesor de la bancada muestra que la opción más optima en este caso es el tubo estructural cuadrado de 1½” pulgadas x 1,5 mm de espesor para la construcción del módulo, llegando a soportar un peso de 400 N, si tomamos un factor de seguridad a la fluencia de 2 como se muestra en la Tabla 1, se puede alcanzar tranquilamente según cálculos los 800 N.

Mediante el Software se obtiene una resistencia a la fluencia de 106381,2 N/m<sup>2</sup> como mínimo y un máximo de 209374256 N/m<sup>2</sup>, considerando las especificaciones del fabricante que muestra la Tabla 2, la resistencia a la fluencia del tubo cuadrado estructural es de 269000000 N/m<sup>2</sup> según la norma ASTM A-500, con estos datos se observa que cumple con el factor de seguridad y no sobrepasa los límites de resistencia a la fluencia, ayudando también a evitar las vibraciones generadas por los motores.

**Tabla 1.**  
Factor de seguridad

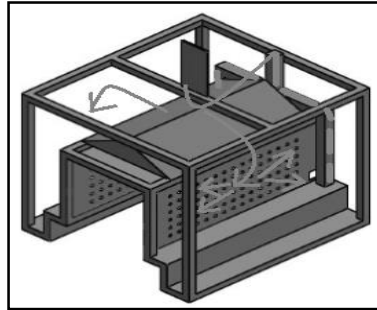
Tipo o clase de carga	Acero, Metales Dúctiles		Hierro Fundido	Madera	de
	Basado en la resistencia máxima	Basado en la resistencia de fluencia	Metales Frágiles	Construcción	
			Basado en la resistencia máxima		
Carga muerta o carga variable bajo análisis por fatiga	3-4	1,2 - 2	5 - 6		7

**Tabla 2.**  
Características mecánicas del tubo cuadrado y rectangular estructural

Propiedades Mecánicas		
Cuadrado y rectangular	Grado A	Grado B
Resistencia a la tracción (Mpa)	310	400
Límite de fluencia (Mpa)	269	317

### Análisis térmico

Dentro de la cámara térmica se debe garantizar una circulación y homogeneidad de la temperatura del aire que circula para conseguir un buen sellado del plástico termoformable, para conseguir esta condición depende de los siguientes factores como son: el diámetro de salida, la forma de las paletas, la velocidad en rpm, la potencia en CV del motor. El ventilador tiene una capacidad que se mide en pies cúbicos por minuto (CFM).



**Figura 4.**

Circulación del aire (Escobar y Tobar, 2015, p. 60)

La temperatura necesaria de la cámara térmica para conseguir el termosellado es de 225 °C, con el dato de la temperatura requerida en la cámara térmica se procede a realizar los cálculos respectivos siendo el primero la transformación de grados centígrados a Fahrenheit.

$$^{\circ}\text{F} = 9/5 * 225\text{ }^{\circ}\text{C} + 32 \quad (1)$$

$$^{\circ}\text{F} = 9/5 * 225\text{ }^{\circ}\text{C} + 32 = 437\text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$225^{\circ}\text{C} = 437\text{ }^{\circ}\text{F}$$

Según los datos obtenidos en la investigación realizada se puede determinar el ventilador que se necesita para mover dicha cantidad de aire con los datos obtenidos de elevación de temperatura los pies cúbico por minuto que debe estar dentro de la cámara con esto se calcula la potencia del motor con la siguiente ecuación:

$$\text{kW} = \frac{\text{CFM} * \text{elevación de temperatura}}{3000} \quad (2)$$

Dónde:

CFM = Pies cúbico por minuto de aire

kW = Potencia del motor

15 = Elevación de temperatura

3000 = Valor constant

$$\text{kW} = \frac{100 * 15}{3000} = 0.5\text{kW} = 500\text{W} = 0.67\text{Hp}$$

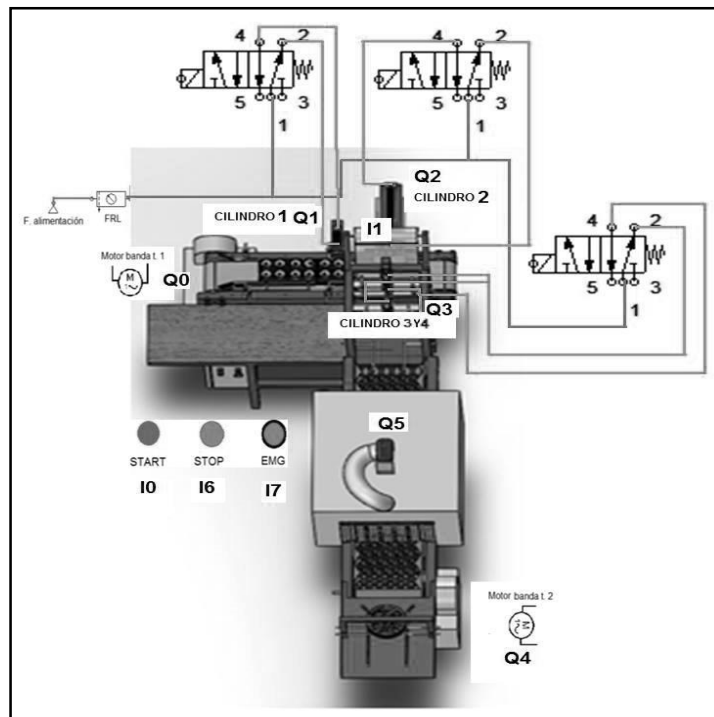
$$500\text{ W} = 0,67\text{ Hp}$$

Con los cálculos realizados se determina que necesitamos un motor de 0,67 Hp, buscando en catálogos y en el mercado existe se ubica un ventilador con las especificaciones del fabricante de ¾ Hp de la marca electric blower a 110 V con un rango de 3000 - 3600 rpm, como se puede observar el ventilador seleccionado es de 0,75Hp siendo mayor al calculado por efectos de stock.

## Diagrama y conexiones de los circuitos eléctricos y neumáticos

Una vez seleccionado los motores que se van a utilizar en las bandas transportadoras, en el sistema térmico se procede a realizar un esquema electroneumático para seleccionar el automáta programable que nos sirva en esta aplicación como se muestra en la Figura 5, según las características del módulo interactivo del sistema termoretráctil se requiere utilizar de un controlador lógico programable con 4 entradas ( I ) y 6 salidas ( Q ) necesarias para cumplir el proceso termoretráctil, razón por la cual se procede a seleccionar un PLC S7-1200 AC/DC/RELE con las siguientes características:

- Alimentación con corriente alterna 110V/220V
- Entradas 24 VCD
- Salidas tipo relé 110V/220V
- Memoria interna de 50 Kb
- Entradas (I): 8
- Salidas (Q): 6



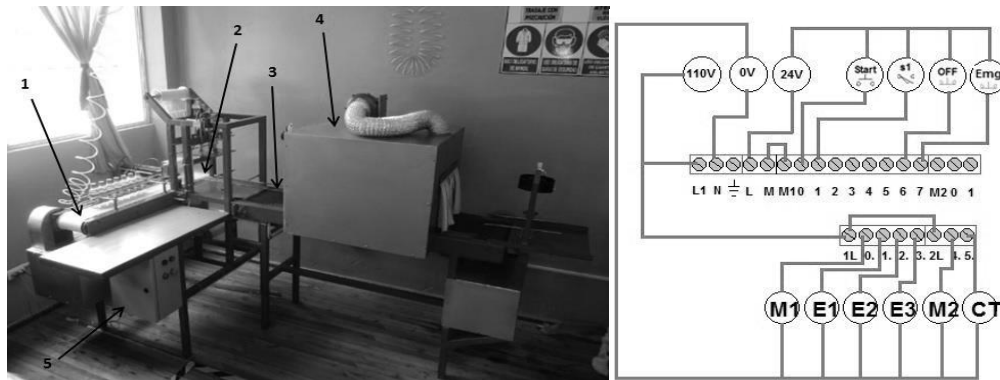
**Figura 5.**

Circuito electroneumático (Escobar y Tobar, 2015, p. 59.)

Se realiza un ensamble en el paquete CAD solidworks de esta manera se puede observar como va a quedar en forma real la cámara termoretráctil, de esta manera se puede considerar todos los demás elementos como es la caja de control, el sistema electroneumático y de una vez transformarle a lenguaje programador viendo las entradas y salidas existentes en el sistema garantizando las conexiones eléctricas y la programación para su correcto funcionamiento como se muestra en la Figura 5.



Con la modelación del sistema completo se procede a realizar los planos de cada una de las partes para posteriormente realizar el ensamble real de cada parte del sistema termoretráctil como se muestra en la Figura 6, dividiéndole en seis partes para realizar la conexión eléctrica de cada uno de los componentes.



**Figura 6.**

Descripción general del módulo del sistema termoretráctil y diagrama de conexiones eléctricas (Escobar y Tobar, 2015, pp. 71, 91.)

El sistema completo de la cámara termoretráctil consta de los siguientes componentes:

1. Sistema transportador del ingreso de productos.
2. Etapa de Sellado y corte del plástico para el termosellado.
3. Sistema transportador de productos hacia la cámara térmica y a la salida.
4. Túnel termoretráctil.
5. Elementos de control.

### SCADA y registro de producción

Una vez implementado e identificado los sistemas del proceso se realiza las respectivas conexiones eléctricas enlazando el controlador con los sensores, actuadores, motores verificando cual de las entradas y salidas del PLC se ubican como se muestra en la Figura 5. Establecidas las entradas y salidas del controlador, bajo la plataforma TIA Portable V13 de Siemens se realiza la programación respectiva para crear las secuencias del proceso y considerar las variables que se van a utilizar en el sistema SCADA.

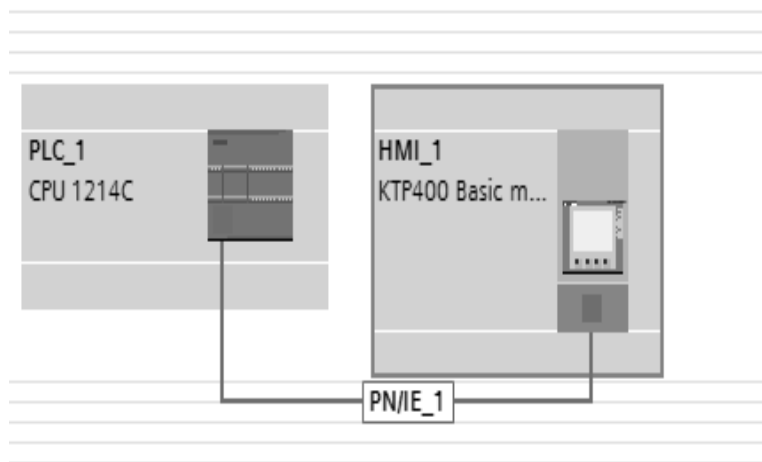
**Tabla 3.**

Definición de entradas/salidas del PLC

Entradas/ salidas	Designación	Designación física	Representación
Entrada	Inicio	I0	Pulsador de primicia del proceso
Entrada	Sensor	I1	Sensor foto eléctrico
Entrada	Parada	I6	Pulsador/Parada
Entrada	Parada de Emergencia	I7	Motor Banda Transportadora 1
Salida	Motor 1	Q0	Cilindro Neumático 1
Salida	Electroválvula 1	Q1	Cilindro Neumático 2
Salida	Electroválvula 2	Q2	Cilindro Neumático 3y4
Salida	Electroválvula 3	Q3	Motor Banda Transportadora 2
Salida	Motor 2 Venterol	Q4	Venterol/Ventilador
Salida	Resistencias Térmicas	Q5	Caja Térmica

Programado el PLC se procede a configurar las HMI's creando las variables para enlazando el PLC con la Touch Pannel y LabVIEW (OPC), generando las interfaces correspondientes a cada una de ellas.

El PLC S7-1200 y la Touch Pannel manejan para comunicación el protocolo TCP/IP sobre interfaz Ethernet como se ve en la Figura 7, gracias a esta bondad de los dispositivos por asignación de direcciones IP en su configuración utilizando el Software TIA Portable, se logra la comunicación para compartir las variables del proceso ya montadas sobre el PLC en su programación; usando un Router casero como intermediario se puede comunicar más dispositivos al sistema, en nuestro caso se ubica un punto ethernet del router a una computadora en la que se encuentre montada la aplicación de Labview y crear la interfaz del sistema SCADA y de paso es donde se va a tener el registro de producción autonomo.



**Figura 7.**

Enlace de comunicación PLC – Touch Pannel

Labview ofrece la herramienta NI-OPC Server que permite comunicar al PLC con la aplicación desarrollada por medio de la declaración de variables, que enlacen a la computadora por medio del labview al PLC creando el sistema SCADA según las necesidades de las variables que se van a controlar y adquirir información.

La configuración del OPC consiste en asignar un canal de comunicación (dirección IP), por el que tendrá acceso el dispositivo PLC y dentro de este se asignarán las denominadas Tag's (Etiquetas) que representan las variables del proceso ya definidas en el PLC con sus respectivas direcciones como se muestra en la Figura 8, para envío y recepción de señal.

Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate	Scaling	Description
<input checked="" type="checkbox"/> ELECTROVALVULA 1	Q0.1	Boolean	100	None	
<input checked="" type="checkbox"/> ELECTROVALVULA 2	Q0.2	Boolean	100	None	
<input checked="" type="checkbox"/> ELECTROVALVULA 3	Q0.3	Boolean	100	None	
<input checked="" type="checkbox"/> INICIO	I0.0	Boolean	100	None	
<input checked="" type="checkbox"/> MOTOR 1	Q0.0	Boolean	100	None	
<input checked="" type="checkbox"/> MOTOR 2 VENTEROL	Q0.4	Boolean	100	None	
<input checked="" type="checkbox"/> PARADA	I0.6	Boolean	100	None	
<input checked="" type="checkbox"/> PARADA EMERGENCIA	I0.7	Boolean	100	None	
<input checked="" type="checkbox"/> RESISTENCIAS TERMICAS	Q0.5	Boolean	100	None	
<input checked="" type="checkbox"/> SENSOR	I0.1	Boolean	100	None	

**Figura 8.**

Creación OPC – Definición de Tag's

Creado el OPC se habilita el servicio en LABview generando un I/O Server de tipo OPC CLient que nos proporcionará una librería con las variables del proceso asignadas en el OPC.

Enlazados el PLC y Labview implementamos la interfaz gráfica de la aplicación y programamos en el mismo, donde representa un sistema industrial real, por lo que la autenticación de usuarios representa algo importante para poder definir funciones y permisos definidos para cada uno de los perfiles asignados.

En el sistema termoretráctil se plantean tres perfiles de usuarios que se detallan a continuación.

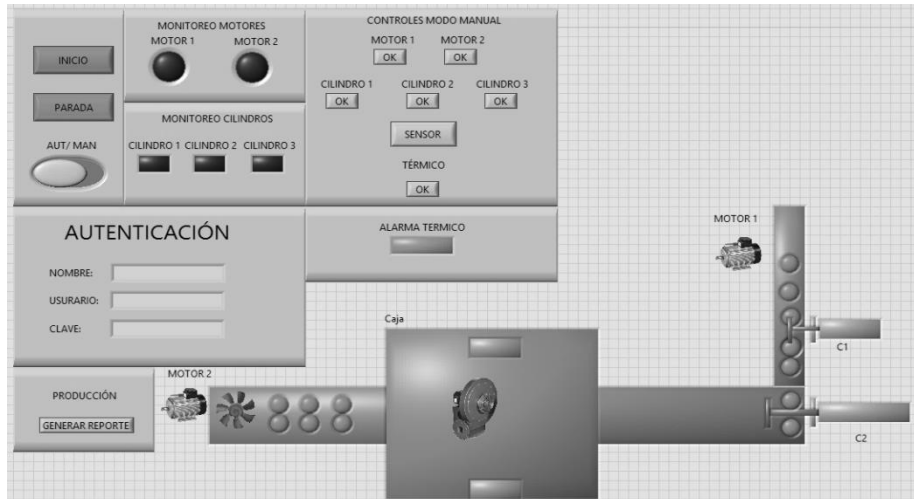
*Invitado:* Es un perfil que simula una persona que no tendrá permisos para realizar acciones de control o supervisión sobre el proceso, lo único a lo que tendrá acceso es a la visualización del desarrollo del proceso, pero no podrá cambiar ningún parámetro del mismo.

*Operador:* Este usuario puede ingresar a la etapa de supervisión, y realizar los cambios operativos dentro del proceso por ejemplo el encendido y apagado.

*Ingeniero:* Este perfil de usuario tiene los permisos para acceder a todas las opciones del proceso y desarrollar cambios operativos así como también acceder a las opciones de seguridad del sistema (bypass), así como también cambiar de modo manual a modo automático y viceversa.

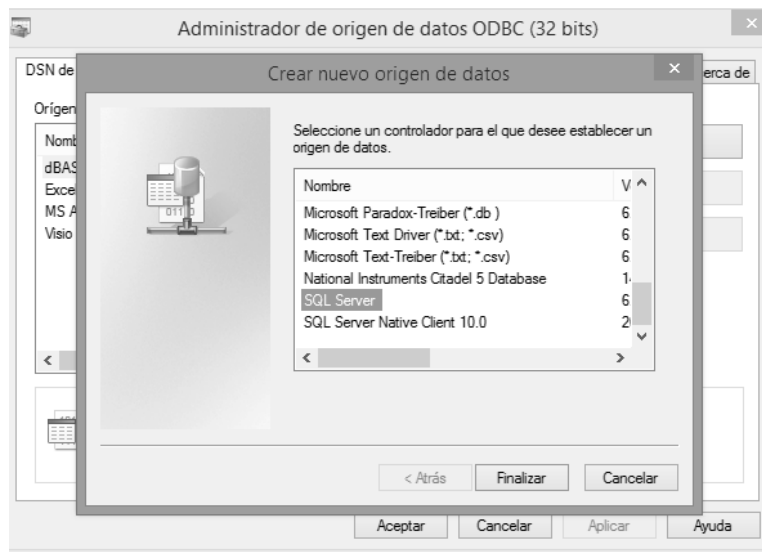
Una vez definidos los perfiles de usuarios, la estructura general del programa consta de:

- Autenticación de usuarios tres niveles de permisos (invitado, operadores e ingenieros)
- Visualización del proceso.
- Generación de reportes en Excel
- Base de datos



**Figura 9.**  
Pantalla del Proceso

A cada uno de los operadores de la planta se genera un nombre, usuario y clave, de esta manera se crea una base de datos de la utilización del proceso precautelando que el sistema no colapse en el caso de malas maniobras o manipulaciones, además de visualización de los registros de producción de las personas que llevan el control de producción diaria, semanal o mensual, para realizar las acciones de enlace entre el LabVIEW y el respectivo gestor de base de datos SQL SERVER en este caso se crea un ODBC por medio del cual montaremos toda la información de alarmas, eventos, usuarios y producción desde LabVIEW a la base de datos de la Figura 9 y 10.



**Figura 10.**  
Pantalla del proceso

Al realizar esta investigación se logra un sistema de automatización integrada llegando a la parte mas alta de la pirámide de automatización como es el caso de la planificación de los recursos empresariales (ERP), consiguiendo un registro diario, semanal, mensual y anual de cada sistema de producción de la empresa

consiguiendo incrementar la producción y productividad de la empresa por medio del SQL que nos permite tener soluciones integradas por medio de la creación de informes de datos.

### **Discusión**

Los diseños y modelados en solidworks permiten verificar los índices de fluencia y el factor de seguridad de cada uno de los elementos del sistema termoretractil de esta manera se evita la prueba y error que se utilizaba anteriormente en escoger el material adecuado para la construcción de la máquina

El Sistema SCADA es aplicable a cualquier otro proceso industrial por medio de las tag's designadas dependiendo la utilidad y el sistema de control y verificación que se vaya a implementar.

Al implementar los dos tipos de HMI's determinan que el LabVIEW ofrece más recursos que el Touch Pannel empleado, pese a que los dos sistemas actúan paralelamente al funcionamiento del módulo.

Los sistemas integrados de automatización permiten incrementar las ganancias en base a la inversión realizada, con una tabla de control y registros de producción automatizados llegando a tener un control de la planta y una planificación de entrega de pedidos.

### **Conclusiones**

La flexibilidad y escalabilidad del proceso integrado automatizado es evidente, en caso de aumentar el número de autómatas programables, estos pueden ser fácilmente agregados dentro de la red de comunicaciones industriales siempre y cuando compartan la interfaz Ethernet para comunicarse.

Los servidores OPC son herramientas muy versátiles que facilitan la integración de elementos de automatización, ahorrando tiempo y garantizando la comunicación entre los procesos.

El sistema desarrollado es un ejemplo claro de la automatización industrial integrada evidente en el SCADA que nos relaciona las comunicaciones industriales, control y automatización de procesos siendo la parte fundamental de la gestión con una base de datos solida e incremento en los ingresos de la planta de producción.

### **Agradecimiento**

Se agradece a la Escuela de Ingeniería Industrial de la ESPOCH, por darnos la oportunidad de dar nuevas soluciones a toda el área industrial.

Se agradece de manera especial a nuestros estimados alumnos Lenin Escobar y Delfo Tobar, que conjuntamente como grupo de trabajo se llegó a la elaboración de la cámara termoretráctil del presente trabajo, como punto inicial de investigaciones y aplicaciones futuras, generando nuevas investigaciones como es el caso del registro de producción autónomo en base a un sistema SCADA.

### **Referencias**

Domingo, A. (2012). *Instrumentación virtual. Adquisición, procesado y análisis de señales*. Madrid, España: Alfaomega.

Escobar, Lenin y Tobar Delfo (2015) *Implementación de un módulo interactivo de un sistema termoretráctil con un plc para el laboratorio de automatización de procesos de la escuela de ingeniería industrial de la ESPOCH*. Repositorio de la ESPOCH. Riobamba, Ecuador.

González, D. Dante, J. (2008). *Automatización de maniobras industriales mediante autómatas programables*. Madrid, España: Alfaomega.

Haro, M. (2007). *Introducción a la Instrumentación*. ESPOCH. Quito, Ecuador.

Monjaraz, J. (2012). *Mecatrónica. Control y Automatización*. Madrid, España: Alfaomega.

Montalvo, P. (2010). *Curso de LabVIEW Básico*. ESPOCH. Quito, Ecuador.

National Instrument Corporation (2006). *LabVIEW Básico I, Introducción. Manual del software del curso versión 8.0*.

Soisson, H. (1996). *Instrumentación industrial*. México, México: Limusa.

# Controladores para un brazo robótico industrial

**Eduardo García Cabezas**

Escuela Superior Politecnica de Chimborazo  
e\_garcia@espoch.edu.ec

**Jhonny Orozco Ramos**

Escuela Superior Politecnica de Chimborazo  
ingjmorozco@gmail.com; jhonny.orozco@espoch.edu.ec

**Carlos Santillán Mariño**

Escuela Superior Politecnica de Chimborazo  
csantillan\_m@espoch.edu.ec

## Resumen

Esta investigación presenta el diseño e implementación de sistemas basados en controladores para la manipulación de un brazo robótico industrial, prototipo de seis grados de libertad adaptable a la ejecución de diferentes tareas, encaminados al desarrollo de una segunda fase para el acoplamiento de estos sistemas a un brazo soldador. Enfocados en los lineamientos de la educación en ingeniería, se implementa diferentes tipos de control. Mediante el tratamiento de señales digitales y analógicas por programación mediante el sistema embebido Arduino, se realizó un sistema de manipulación del brazo robótico por radiofrecuencia basado en el control Logitech Cordless Acción con licencia oficial para PlayStation, un Joystick analógico/digital y como medio de control desde el ordenador, se empleó una interfaz desarrollada en LabVIEW para el envío de instrucciones hacia los actuadores del brazo robótico direccionadas a través del sistema embebido Arduino MEGA utilizado como pasarela de comunicación. Como resultado de las pruebas se obtiene un sistema automatizado para el movimiento de objetos por medio de la manipulación del brazo, se utilizó una fuente de 3500 mA para llegar a estabilizar el manipulador, además, se evidenció que con los tres controladores, se generaba el calentamiento excesivo del servomotor correspondiente al hombro del brazo por el sobreesfuerzo para levantar las demás articulaciones corrigiendo por medio de la instalación de resortes.

**Palabras claves:** Brazo robótico, Controlador, Interfaz de comunicación

## Abstract

This research presents the design and implementation of systems based on controllers for the manipulation of a prototype industrial robotic arm of six degrees of freedom adaptable to the execution of different tasks, directed to the development of a second phase for the coupling of these systems to an arm welder. Focused on the guidelines of engineering education, different types of control are implemented. By means of the digital and analog signal processing by means of the embedded Arduino system, a radiofrequency robotic arm manipulation system based on the Logitech Cordless Action control with official license for PlayStation, an analogue / digital Joystick and as a means of control from the computer an interface developed in LabVIEW was used to send instructions to the robotic arm actuators directed through the embedded Arduino MEGA system used as a communication gateway. As a result of the tests, an automated system for the movement of objects was obtained by means of manipulation of the arm, a source of 3500 mA was used to stabilize the manipulator, in addition, it was evidenced that with the three controllers, the excessive heating of the

servomotor that corresponds to the shoulder of the arm by the overexertion to lift the other joints correcting by means of the installation of springs.

**Keywords:** Robotic arm, Controller, Communication interface

## **Introducción**

### **Introducción al problema**

Actualmente el campo industrial se ha convertido en uno de los mayores gestores de desarrollo en el ámbito de la ingeniería. Con la llegada de las tecnologías telemáticas y de internet, aparece una nueva era de conectividad entre máquinas que proporciona innovadoras formas para adquirir, analizar y presentar la información (Chamorro, 2004), (Foix, Zavando, 2002).

Dentro del campo de la robótica, se han desarrollado diversas aplicaciones que permiten la automatización de procesos industriales, estas innovaciones ayudan al estudiante a adquirir rápidamente conceptos y habilidades en el campo del control y la automatización, la comprensión en el funcionamiento de robots, y la preparación para manipularlos adecuadamente.

En la actualidad el ingeniero busca producir nuevas tecnologías que faciliten la manipulación de forma remota en los diferentes campos industriales, en los que puedan intervenir los brazos robóticos, para así lograr la automatización de los procesos y tener el menor contacto posible con el manipulador, facilitando las actividades laborales y sobretodo salvaguardar la vida de los operarios, evitando posibles accidentes (Foix, Zavando, 2002).

Con el propósito de ampliar la cobertura en la formación académica, de investigación y de optimizar los recursos con que se dispone en el área, se presenta el desarrollo de este proyecto, cuya intención es aplicar las metodologías de aprendizaje activo para la educación en ingenierías.

El proyecto consiste en diseñar e implementar tres sistemas para la manipulación de un brazo robótico industrial de seis grados de libertad utilizando diferentes controladores, encaminando su aplicación a la construcción de un brazo robot soldador.

Para el mando del brazo robótico se analizaron y aplicaron tres tipos de controladores: la comunicación por mando inalámbrico, el control por joystick y el control del robot a través del ordenador, para después de la puesta en marcha del brazo con cada uno de los controladores aplicados, realizar un análisis comparativo entre los diferentes tipos de comunicación mencionados, para determinar las ventajas y desventajas en cada caso.

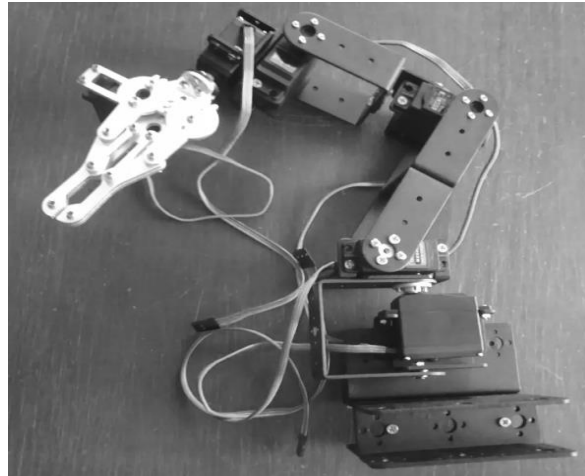
### **Importancia del problema**

EL conocimiento sobre controladores empleados para la manipulación de un brazo robótico, servirá de instrumento de desarrollo para la segunda fase de este proyecto que se encamina a la construcción de un brazo soldador con la integración de visión artificial para el control de la soldadura.

### **Metodología**

La construcción del brazo robótico no fué objetivo de este trabajo, por lo que se tomó un kit ensamblable de brazo mecánico de aluminio con pinza en el que se efectuaron las pruebas de cada forma de control.





**Figura 1.**

Brazo robótico mecánico de aluminio

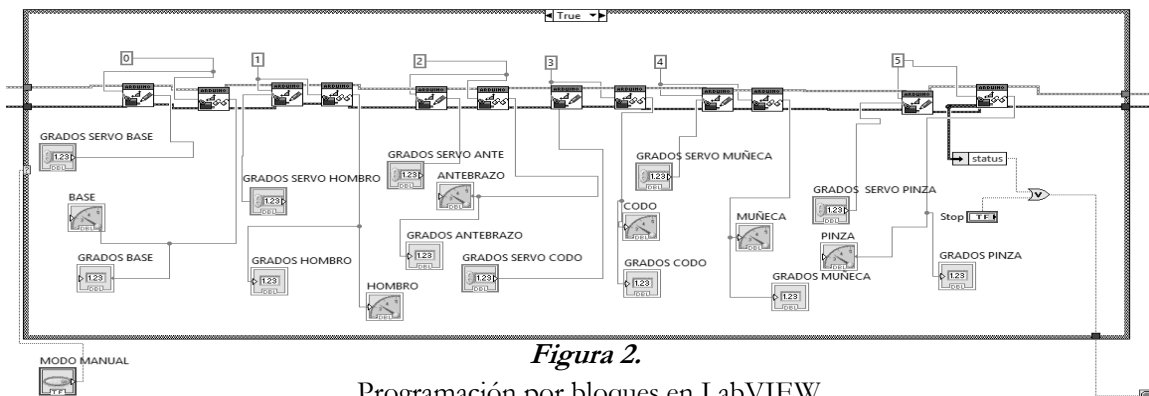
El brazo robótico dispone de 6 servomotores que controlan el movimiento de cada articulación, relacionándolo y la estructura del brazo de una persona se asigna denominaciones a cada articulación, estas son: base, hombro, codo, antebrazo, muñeca, pinza.

**Comunicación entre el brazo robótico y el ordenador**

El objetivo en este punto es la manipulación del brazo robótico por medio de señales emitidas desde el ordenador, para lo cual se utilizó el software LabVIEW para el desarrollo de una interfaz gráfica por sus prestaciones al momento de interactuar con dispositivos externo.

Se aplica comunicación serial por medio de un Arduino Uno empleado como pasarela entre el ordenador y el brazo robótico se carga con un código complemento LIFA.ino que actúa como decodificador de las señales del ordenador a instrucciones entendibles para el microcontrolador. Al relacionar las señales del ordenador seteadas desde la interfaz desarrollada con el Arduino, éste interactúa con los actuadores o servomotores del brazo robótico para el control de movimientos.

LabVIEW dispone de una librería exclusiva para la interacción directa con los pines del Arduino, es decir lectura y escritura sobre sus pines digitales & analógicos, emisión de señales de pwm sobre sus pines con esta posibilidad. La programación se la realiza por bloques, característico de Labview.



**Figura 2.**

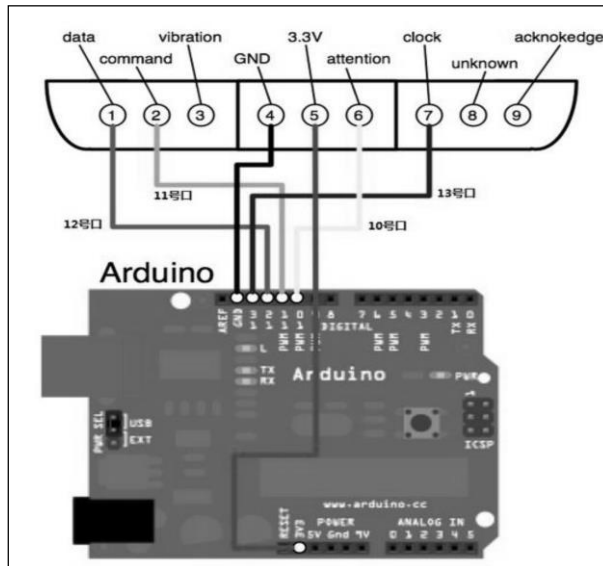
Programación por bloques en LabVIEW

La figura 2 representa un segmento de la programación en Labview para el control desde una interfaz gráfica montada en el ordenador para el control del brazo robótico por medio de la manipulación de los ángulos de giro de los servomotores.

### Comunicación del brazo robótico por control inalámbrico

El sistema de control inalámbrico emplea un receptor en el lado de los servos y un transmisor de radio para hacer la comunicación. Se utiliza el control inalámbrico Logitech Cordless Acción con licencia oficial para PlayStation 2, cuenta con 10 entradas analógicas y 3 botones digitales, un arduino y un shield sensor V5.

El dispositivo seleccionado para este tipo de manipulación trabaja a una frecuencia de 2.4 GHz, utilizando radiofrecuencia, cuenta con dos partes específicas el emisor, una palanca de juegos y el receptor, un decodificador con salidas acoplables a un microcontrolador.



**Figura 3.**

Diagrama de conexión del control inalámbrico al arduino

Fuente: Barahona, D. Méndez, L., 2015

Al manipular las entradas digitales, en este caso cualquiera de los botones, la señal se envía directamente al receptor, el mismo que lee, decodifica y adecúa la señal para enviarla hacia el shield sensor V5 que actúa como una expansión del Arduino MEGA 2560 y una manera fácil de conectar sensores, servomotores y dispositivos RS485. Posee una entrada de energía individual para servomotores y proporciona una forma fácil de conectar un módulo inalámbrico, como módulo de RF APC220 y módulo DF-Bluetooth.

El microcontrolador procesa la información adquirida por medio de la Shield para transformarla en instrucciones previamente programadas para ser ejecutadas por los servomotores que componen el brazo robótico.

## Comunicación del brazo robótico por joystick

En este caso, el controlador que se comunica con el brazo es un Joystick analógico/digital, dispositivo que controla dos o tres ejes, tiene forma de palanca de mano. Las señales de tipo analógico que éste genera utilizan potenciómetros para leer continuamente el estado de cada eje y definir coordenadas específicas.

Las salidas analógicas del joystick se conectan con las entradas analógicas de Arduino. Se emplea como interfaz de comunicación, la tarjeta Arduino Mega 2560 basada en el microcontrolador ATmega2560 que es una plataforma de hardware libre junto a su propio entorno de desarrollo y su interfaz de programación.

## Resultados

Se efectuó el montaje del brazo robótico mediante el ensamblaje de todas sus piezas mecánicas y los servomotores. Se consiguió obtener los seis grados de libertad planteados gobernados cada uno de ellos con servomotores Tower Pro MG966R alimentados con 5 voltios lo que proporciona un torque comprendido entre los 9.4 y 11 [Kg-cm].

Implementadas individualmente las interfaces de control para la manipulación del brazo robótico se las puso en marcha para efectuar pruebas de manipulación para observar resultados, realizar comparaciones, errores y ejecutar las debidas correcciones.

Para la manipulación del brazo robótico por medio del computador se obtiene como resultado una interfaz en Labview que contiene individualmente el control de ángulos de giro de los servomotores.

La interfaz cuenta con un edit para lectura de los ángulos y un cuadro de seteo para manipular el valor de los ángulos al instante de manipular los servomotores, además cuenta con un botón de activación del sistema (ON) que conllevará al posicionamiento inicial del brazo, se registrará en los campos de visualización y de seteo el valor de cero, pues se consideró esto al ensamblar el brazo robótico.

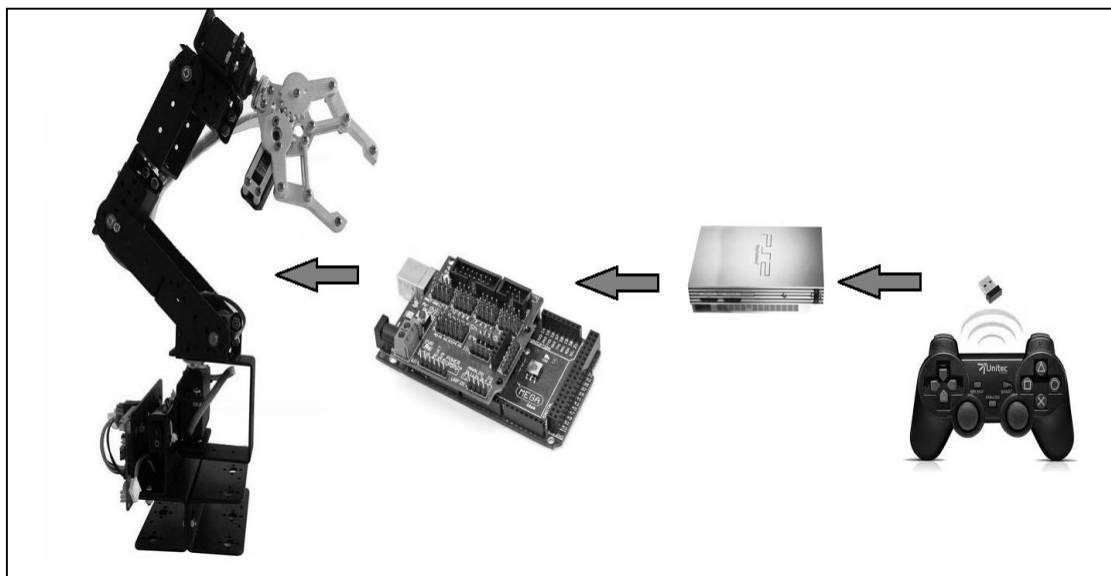


*Figura 4.*

Interfaz en LabVIEW para manipulación del brazo

La figura 4 muestra la interfaz gráfica desarrollada para la interacción del usuario y el brazo robótico. Se obtiene que al realizar la manipulación del brazo robot por medio de esta interfaz al setear el ángulo con un salto de un grado, el brazo desarrolla los movimientos en forma suave y precisa.

En otro caso se logró el control y manipulación del brazo robótico por interfaz Wireless utilizando tecnología de radiofrecuencia de una palanca de PlayStation 2. La topología de conexiones entre los dispositivos se detalla en la figura 5.



**Figura 5.**

Diagrama de relación de elementos para el control inalámbrico del brazo

Las respuestas para ejecución de los movimientos del brazo robótico según las instrucciones manipuladas en el control inalámbrico dieron lugar a la evaluación del funcionamiento para señales analógicas y para señales digitales. Las instrucciones programadas en el Arduino para los mandos digitales del controlador funcionaron sin problema mientras que los mandos digitales dieron lugar a pequeñas impresiones.

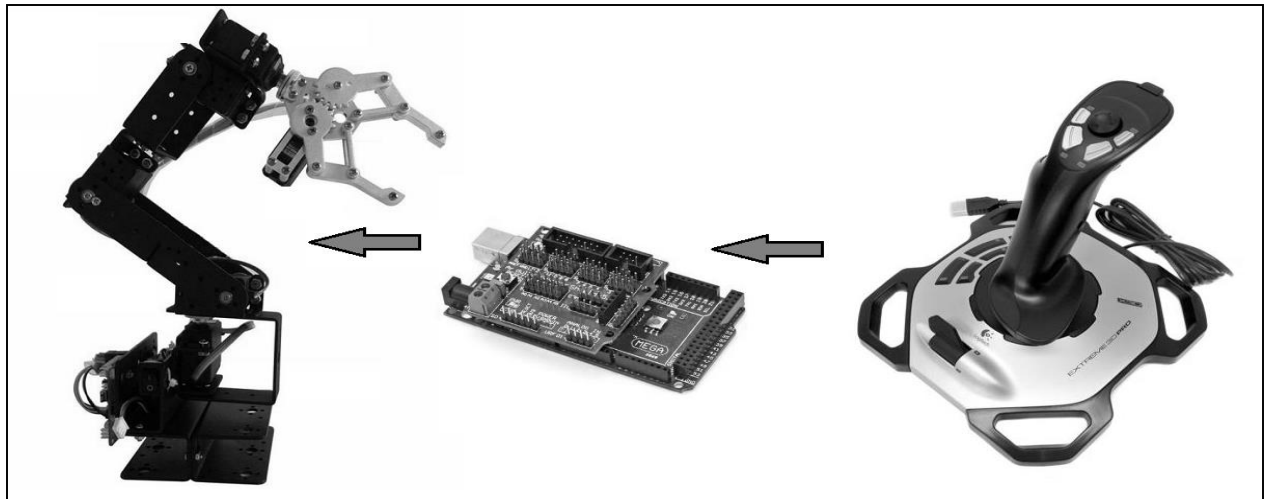
Además también este tipo de control dio lugar a considerar que dependerá mucho el lugar donde se vaya aplicar porque resulta sensible a interferencias generadas por líneas de energía, señales de comunicación o campos electromagnéticos externos e incluso se requiere línea de vista directa para su enlace, en caso de existir obstáculos la señal se atenúa y tiene que atenuarse.

Para el caso de manipulación por joystick se obtuvo una red cableada con transmisión de señales analógicas de voltaje proporcionadas por el conjunto de potenciómetros y pulsadores que contiene el dispositivo de control.

El Arduino adquiere las señales del joystick a través de la Shield v5 y a través de las sentencias programadas en el Arduino se ejecutan los movimientos estipulados por el controlador.

En este caso los movimientos son precisos mucho se debe a que los potenciómetros varían al mínimo movimiento de la palanca y la interacción entre el controlador, Arduino y el brazo ejecutan las acciones en tiempo real, incrementando así la eficiencia de este tipo de control.

La figura 6 detalla los elementos necesarios para la manipulación por joystick y su lugar dentro del circuito de control.



**Figura 6.**

Diagrama de conexión entre el brazo robótico y el Joystick

### Pruebas de funcionamiento

En principio, se ejecuta la prueba de ejes aislados para constatar el normal funcionamiento de cada servo por separado, para ello, se comprueba el ángulo de giro de cada servo por separado, y se obtiene los siguientes resultados:

**Tabla 1.**

Prueba de ángulos de giro

Articulaciones	Ángulo de giro	Ángulo inicial	Ángulo final	Estado de giro
Base	180°	0°	180°	Completo
Hombro	180°	0°	180°	Completo
Codo	180°	0°	180°	Completo
Muñeca	180°	0°	180°	Completo
Rotación de la muñeca	180°	0°	180°	Completo
Pinza	180°	0°	180°	Completo

Para las articulaciones, se ejecutan las pruebas de forma ascendente, a partir de dos articulaciones, hasta completar el movimiento total del brazo, cuando existen giros simultáneos; es importante notar el funcionamiento con respecto a estabilidad, calentamiento, desplazamiento, vibraciones u oscilaciones. Al inicio, en la puesta en marcha, se trabajó con una fuente de alimentación de 1800 mA, sin embargo, se generaron ciertos inconvenientes en cuanto a vibraciones en los servos y retornos de energía hacia las tarjetas, que se traducía en reseteos constantes y repetitivos que no permitían el mando correcto del brazo, entonces se cambió a una fuente de 3000 mA para llegar a estabilizar el manipulador. Además, se evidenció que con los tres controladores, se generaba el calentamiento excesivo del servomotor correspondiente al hombro del brazo robótico por el sobreesfuerzo para levantar las demás articulaciones. Para resolver esta dificultad se

procedió a instalar resortes desde el soporte del servomotor de la base hasta el servomotor del codo, obteniendo resultados favorables.

Al corregir todos los errores presentados, se inician las pruebas con cargas, a fin de verificar el comportamiento del manipulador, realizando toda clase de giro. (Barahona, Méndez, 2015)

Al terminar con las pruebas realizadas se tiene que los mandos por ordenador tienen mayor estabilidad y precisión al momento de realizar los movimientos, pese al desenvolvimiento óptimo del sistema con radiofrecuencia y con joystick no resultan convenientes por su falta de precisión en los movimientos, como otra etapa de este estudio se podría implementar etapas de corrección de estas deficiencias.

### **Discusión**

Con este diseño se realizaron las primeras pruebas del brazo robótico con sus tres controladores, por medio de las cuales los problemas empezaron a evidenciarse. El más importante de ellos era que se estaba trabajando con una fuente de alimentación de 1800mA, la cual no abastecía la corriente necesaria para los servomotores y al momento de poner en funcionamiento el brazo robótico se presentaba excesiva vibración en los servomotores y retorno de energía hacia las tarjetas lo cual provocaba el reinicio repetitivo y en el caso extremo quemar las tarjetas y los servomotores.

Se procedió a cambiar la fuente de alimentación por una de 3000mA con la cual el problema se solucionó tanto en el retorno de energía como en las vibraciones.

### **Conclusiones**

Se desarrolló un sistema automatizado para el movimiento de objetos por medio de un brazo robótico, mediante el uso de hardware y software específico para diseño e implementación de sistemas de control.

El control del brazo a través del ordenador, genera mayor estabilidad y precisión al momento de ejecutar los movimientos porque se puede setear por programación en los bloques desde LabVIEW la velocidad y tiempo de ejecución de giro en los servomotores.

El control inalámbrico del brazo, presenta la ventaja de no utilizar cables además al ser el control de tipo manual, la velocidad de respuesta y precisión son mayores, sin embargo, resulta ser uno de los métodos más complicados, debido a que el sistema vía radio es susceptible a interferencias. De este modo, las señales analógicas que emite el control son muy sensibles, por lo que se presentaron cambios bruscos e inestables en la manipulación del brazo.

El control a través del joystick, que es un sistema muy compacto, se puede incluir en un solo módulo toda la electrónica y el mando de control, funciona eficientemente con solo dirigir la palanca y en la puesta en marcha del manipulador presentó mayor comodidad y mejor desenvolvimiento del brazo robótico, ya que facilita el control y permiten realizar movimientos con gran precisión para generar las señales analógicas, se utiliza los potenciómetros, y los botones son digitales y analógicos.

Con este proyecto se consiguió poner en funcionamiento el brazo robótico industrial, a través de distintas vías de mando, siendo esta una herramienta que apoya la formación de los estudiantes de ingeniería en el campo del control de procesos y automatización industrial.

## Agradecimiento

Se agradece a la Escuela de Ingeniería Industrial de la ESPOCH por darnos la oportunidad de trabajar en sus laboratorios y encaminarnos a dar nuevas soluciones a toda el área industrial.

Se agradece de manera especial a los estimados graduados de la Escuela de Ingeniería Industrial Diego Barahona y Luis Mendez que aportaron con el inicio del presente trabajo de investigación y aplicación.

## Referencias

- Acedo Sánchez, J. (2006). *Instrumentación y control básico de procesos*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos
- Barahona, D & Méndez, L. (2015). *Diseño e implementación de un brazo robótico mediante control: por computadora, inalámbrico y joystick, para el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Industrial de la ESPOCH*. (Tesis de grado) Ingeniería Industrial, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- Boylestad, R., & L. Nashelsky, (2012). *Electronic devices and circuit theory*. 10 ed. (New Edition). Pearson Education
- Chamorro, C. (2001). *Simulador del Robot UV-Cerma*, B.Sc. Thesis, Escuela de Ingeniería de Sistemas, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Constante, N. (2012). *Diseño e implementación de un prototipo de brazo robótico para aplicación de clasificaciones y reconocimiento de formas en el proceso de paletizado empleando procesamiento digital de imágenes*. (Tesis de grado) Ingeniería en Mecatrónica, Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga. Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5924/1/T-ESPEL-0940.pdf>
- Foix C. & Zavando, S. (2002). *Estándares e-Learning*. Centro de Tecnologías de la Información. Recuperado de: [http://www.educ.cl/INTEC-Estandares\\_e-learning.pdf](http://www.educ.cl/INTEC-Estandares_e-learning.pdf).
- Frye, J. (2009). *Manual de SSC-32*. Recuperado de [http:// www.Superrobotica.com](http://www.Superrobotica.com)
- González, V. (2014). *Control y robótica*. Recuperado de [http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr\\_0708/archivos/\\_15/Tema\\_5.4.htm](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0708/archivos/_15/Tema_5.4.htm).
- Margolis, M. (2010). *Arduino Cookbook*. O'Reilly Media.
- Morales, Y. (2014). *Robótica*. Recuperado de <http://robotica.wordpress.com/about/>.
- Oporto, S. (2010). *Inteligencia artificial y robótica*. Recuperado de <http://slideplayer.es/slide/92342/>.
- Palas, R. (2003). *Sensores y acondicionadores de señal*. 4ta ed. México, México: Marcombo, 2003.
- Rashid, M. (2004), *Electrónica de potencia. Circuitos, dispositivos y aplicaciones*, G. T. Mendoza, 3rd ed., México, México: Pearson Educación

# Estudio para la implementación de una planta móvil de potabilización y purificación de agua para catástrofes naturales

**Javier Baque Solís**

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí  
javierbaque1980@gmail.com

**David García García**

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí  
dav1078@hotmail.com

**Rocío Palma Ramos**

Grupo DegFer  
rociopalma13@hotmail.com

## Resumen

Manta fue una de las ciudades devastadas por la catástrofe del terremoto del 16 de abril del 2016, afectando de distintas maneras a la población, entre estas la economía, la educación y la movilización de recursos como alimentación y agua. El objetivo de esta investigación se orienta hacia el diseño de la estructura de una planta móvil para el tratamiento del agua que cubra las necesidades de la población albergada. Los métodos aplicados a la investigación fueron: descriptivo, analítico y de campo a través de encuestas dirigidas a la población en estudio, información que fue analizada cualitativa y cuantitativamente. La planta fue proyectada lo más compacta posible para que facilite su traslado de una zona vulnerable a otra, de esta forma brindar un abastecimiento satisfactorio, es decir suficiente, salubre y accesible. Uno de los aspectos concluyentes del estudio, es la factibilidad para la puesta en marcha del proyecto que se dirige a beneficiar a familias perjudicadas por desastres causados por la naturaleza.

**Palabras claves:** Agua, Implementación, Planta móvil, Catástrofes, Factibilidad

## Abstract

Manta was one of the cities devastated by the earthquake catastrophe of April 16, 2016, affecting the population in different ways, including economy, education and the mobilization of resources such as food and water. The objective of this research is to design the structure of a mobile plant for water treatment to cover the needs of the sheltered population. The methods applied to the research were: descriptive, analytical and field through surveys directed to the population under study, information that was analyzed qualitatively and quantitatively. The plant was projected as compact as possible to facilitate its transfer from one vulnerable area to another, thus providing a satisfactory supply, ie sufficient, salubrious and accessible. One of the conclusive aspects of the study is the feasibility for the implementation of the project that is aimed at benefiting families affected by natural disasters.

**Keywords:** Water, Implementation, Mobile plant, Catastrophes, Feasibility.



## **Introducción**

Manta fue una de las ciudades más perjudicada por la catástrofe del terremoto del 16 de abril del 2016, afectando de distintas maneras a la población, entre estas la economía, la educación y la movilización de recursos (alimentación, agua, etc.).

Post a lo sucedido, se crearon albergues para salvaguardar las vidas de las personas que desafortunadamente perdieron sus hogares y poder de esta forma recibir ayudas de personas, organizaciones e instituciones públicas y privadas.

Unas de las principales carencias que se visualizó en estos albergues, es la escasez de comida y sobre todo del agua produciendo un sin número de enfermedades que afectan principalmente a la niñez y a los adultos mayores. Es de mucha importancia precautelar la seguridad de los damnificados, cubriendo los requerimientos de alimentos y sobre todo de agua para el consumo humano y para las tareas cotidianas que por las circunstancias se hace difícil cubrir.

Considerando que el principal requerimiento durante una emergencia es el agua potable y agua purificada, se plantea el diseño de una planta móvil para el tratamiento de potabilización y purificación de agua que busca mitigar de manera sustancial esta necesidad, puesto que brinde las ventajas de ser fácil de transportar, fácil manejo y de inmediata puesta en operación.

Este proyecto tiene como finalidad, el abastecimiento de agua potable y purificada a las personas que habitan en los diferentes albergues de la ciudad.

En la investigación se analizará las principales fuentes de suministro de agua a los albergues, el diseño y distribución óptima de los equipos a utilizar para el tratamiento del agua y el costo de la inversión para la puesta en marcha del proyecto.

## **Importancia del problema**

A raíz del terremoto del 16 de abril del 2016, se crearon albergues para salvaguardar las vidas de las personas que desafortunadamente perdieron sus hogares y recibir ayudas de personas, organizaciones e instituciones públicas y privadas.

No obstante, uno de los principales problemas que se visualiza en estos albergues es la escasez de comida y sobre todo del agua para el consumo humano produciendo un sin número de enfermedades que afectan principalmente a la niñez y a los adultos mayores.

El agua es imprescindible para el mantenimiento de la vida. Mientras que las personas pueden pasar semanas sin comer, tan solo pueden pasar días sin beber agua, es por ello que se debe disponer en los albergues un abastecimiento de agua satisfactorio es decir suficiente, salubre y accesible.

En cualquier situación de desastre natural, el abastecimiento de agua segura para la población es de vital importancia. Como tal la fuente de agua está disponible, pero se requiere que la misma sea tratada antes de ser consumida.

Otros de los problemas es que el agua de la red municipal y del sistema de aprovisionamiento mediante tanqueros en los albergues carece de características de pureza en su estado natural y en su defecto las entidades gubernamentales (Municipio), no ejercen una política de mejora continua en la calidad de agua a la que denominan potable, esto ha creado en la población un malestar y rechazo por las condiciones en las que este líquido vital se distribuye a las familias para su uso, en tal virtud, las personas prefieren hervir el agua en cautelar la salud familiar.

Estos son los motivos por el cual se cree conveniente para la comunidad albergada la creación de una planta móvil de potabilización y purificación de agua con el objetivo de contrarrestar las contaminaciones existentes.

### Metodología

Se aplicaron los siguientes métodos de investigación del proyecto:

- Exploratorio: Debido a que se requiere el acercamiento con la población involucrada y el objeto de investigación.
- Descriptivo: Porque será necesario hacer una descripción completa del proceso de tratamiento de agua.
- Analítico. - Debido a que la información que se recopile durante el estudio será analizada cualitativa y cuantitativamente.
- De Campo. - Se deberá recopilar información específica a través de encuestas dirigidas a la población en estudio.

Para la obtención de información primaria se realizó el método del muestreo el cual consiste en realizar encuestas a un número determinado de personas alojadas en los albergues. Se usó una muestra no probabilística. Los sujetos en una muestra no probabilística generalmente son seleccionados en función de su accesibilidad o a criterio personal e intencional del investigador.

La fórmula determinará una muestra a partir de la población existente según los datos facilitados por el Ministerio de Inclusión Económica y Social (MIES), el cual indica que existe un total de 90 familias alojadas en el albergue los esteros 1.

Para obtener la muestra se consideró una poblacional N (90 familias), se consideró un nivel de confianza Z =1,96, una probabilidad a favor de p=50% y una en contra de q=50%. Y un margen de error considerable del 10%. Teniendo estos datos establecidos se puede calcular el número de muestra n

$$n = \frac{Z^2 * N * p * q}{(E^2 * N) + Z^2 * p * q} \quad n = \frac{(1,96)^2 * 90 * (0,5) * (0,5)}{(0,1)^2 * 90 + 1,96^2 * (0,5) * (0,5)} =$$

$$n = \frac{86,43}{0,9+0,25} = 82,3$$

### Agua potable

El agua potable es el agua que podemos consumir o beber sin que exista peligro para la salud. El agua potable no debe contener sustancias o microorganismos que puedan provocar enfermedades o perjudicar la salud (Romero. Mynor, 2017). Por ello, antes de que el agua llegue a las casas, es necesaria que sea tratada en una planta potabilizadora.

## Agua purificada

El agua purificada, como su nombre lo dice es agua potable que se somete a diferentes procesos de purificación, para poder lograr los estándares de calidad que le dan el nombre de agua purificada, que generalmente son más estrictos que los del agua potable normal (Romero M., 2017).

A continuación, tabla que muestra el consumo mínimo de agua en situación de emergencia

**Tabla 1.**  
Consumo mínimo de agua en situación de emergencia

<b>Necesidad Básica</b>	<b>Litros por persona al día</b>	<b>Observaciones</b>
Consumo de agua para beber y utilizar con los alimentos	2.5-3	Depende del clima y la filosofía individual.
Prácticas básicas de higiene	2.6	Depende de las normas sociales y culturales
Cocina	3-6	Depende de los alimentos, normas sociales y culturales
Cantidad total de agua	7.5-10	Aproximado

**Fuente:** Cabrera, A., (2011)

El suministro de agua durante un desastre natural constituye la principal fuente de enfermedades sino está debidamente tratada, así como es un requerimiento básico, también es el primero que se ve afectado y por lo cual es necesario disponer de los medios para asegurar que las poblaciones afectadas reciban agua de calidad y cantidad adecuada, que de ninguna manera vaya a poner en riesgo la salud de las personas.

## Condiciones de abastecimiento de agua para personas alojadas en los diferentes albergues

Durante la situación de emergencias, uno de los principales sistemas afectados fue el de agua potable, haciéndose más notoria esta carencia en los lugares destinados al alojamiento provisional de personas, donde las condiciones viales dificultan el abastecimiento de agua.

## Transporte

El transporte de agua durante una situación de emergencia se dificulta debido al mal estado de las vías, situación que se evidenció después del terremoto del 16 A, donde muchos tramos de las vías quedaron completamente afectados provocando esto la complicación de transportar inmediatamente el líquido vital

## Almacenamiento y distribución

El almacenamiento y la distribución de agua en la mayoría de los casos se dieron por garrafones y por medio de tanqueros para los refugios, pero en ninguno de los casos se logró cubrir con los requerimientos básicos del agua (Arboleda J, 2002)

## Proceso de purificación y potabilización de agua

Estas etapas comprenden lo que es la clarificación, cuyas operaciones son sedimentación, coagulación /floculación y filtración.

## Sedimentación

Es la eliminación de sólidos suspendidos en el agua por asentamientos gravitacional. (Arboleda J, 2002)

## Coagulación/floculación

Los procesos de coagulación se emplean para extraer del agua los sólidos que en ella se encuentran suspendidos siempre que su rapidez natural de asentamiento sea muy baja para proporcionar clarificación efectiva.

El proceso de coagulación y floculación se usa para:

- Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentar rápidamente.
- Remoción de color verdadero y aparente.
- Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- Destrucción de algas.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos o compuestos orgánicos.

## Filtración

El objetivo básico de la filtración es separar las partículas y microorganismos objetables, que no han quedado retenidos en los procesos de coagulación y sedimentación. La filtración puede efectuarse en muchas formas: con baja carga superficial (filtros lentos) o con alta carga superficial (filtros rápidos). Medios porosos (pasta, arcillosas, papel de filtros) o en medios granulares como la arena.

## Desinfección

La desinfección se la puede dividir en natural y artificial. La primera, se refiere a la muerte progresiva de las bacterias producidas por agentes naturales tales como la luz solar, la sedimentación, la filtración en la capa arenosa del suelo. La desinfección artificial puede realizarse mediante agentes físicos o químicos, de este modo es como vamos a realizar la desinfección del agua en el proyecto.

## Resultados

### Análisis de los Resultados de la Encuesta

**Tabla 2.**

Abastecimiento de agua

Por tanqueros	40
Por tubería	42

Otros

**Tabla 3.**

Costo de agua purificada

\$1,00	
\$1,25	82
\$1,50	

### Parámetros para el diseño

El principal parámetro que se consideró para el diseño de esta planta fue el espacio disponible, se escogió un contenedor de 20 pies de longitud por ser fácil de movilizar y ubicar en cualquier sitio, las dimensiones del contenedor se describen en la siguiente tabla:

**Tabla 4.**  
Dimensiones del contenedor

Tipo de contenedor	Dimensiones externas(m)			Dimensiones internas(m)		
	Largo	Ancho	Alto	largo	Ancho	Alto
Contenedor plano 20 pies	6,05	2,43	2,59	5,89	2,35	2,39

### Determinación de la capacidad de operación

Para determinar la capacidad de operación, se tomó como referencia uno de los lugares en los que esta planta sería utilizada, este es el caso del albergue los esteros uno por ser el más grande y con mayor número de familias en la ciudad de Manta en el cual albergan un total de 90 familias, donde se tomó en consideración un promedio de los valores establecidos por la Organización Panamericana de la Salud en el consumo de agua potable durante situaciones de emergencias, el mismo que es aproximadamente 15L/personas al día, lo que permite obtener los siguientes resultados:

Consumo para las 90 familias

Consumo= 90 familias x 4personas por familia x 15consumo de agua /día

Consumo=5400 L/día

Consumo=5,4m<sup>3</sup>/día

Para calcular el caudal por área se tiene

$$Q = \frac{V}{T}$$

En donde:

Q= caudal en metros cúbicos/ horas (m<sup>3</sup>/h)

V=volumen en metro cúbicos (m<sup>3</sup>)

T= tiempo en horas(h)

$$Q = \frac{5,4m^3}{24h}$$

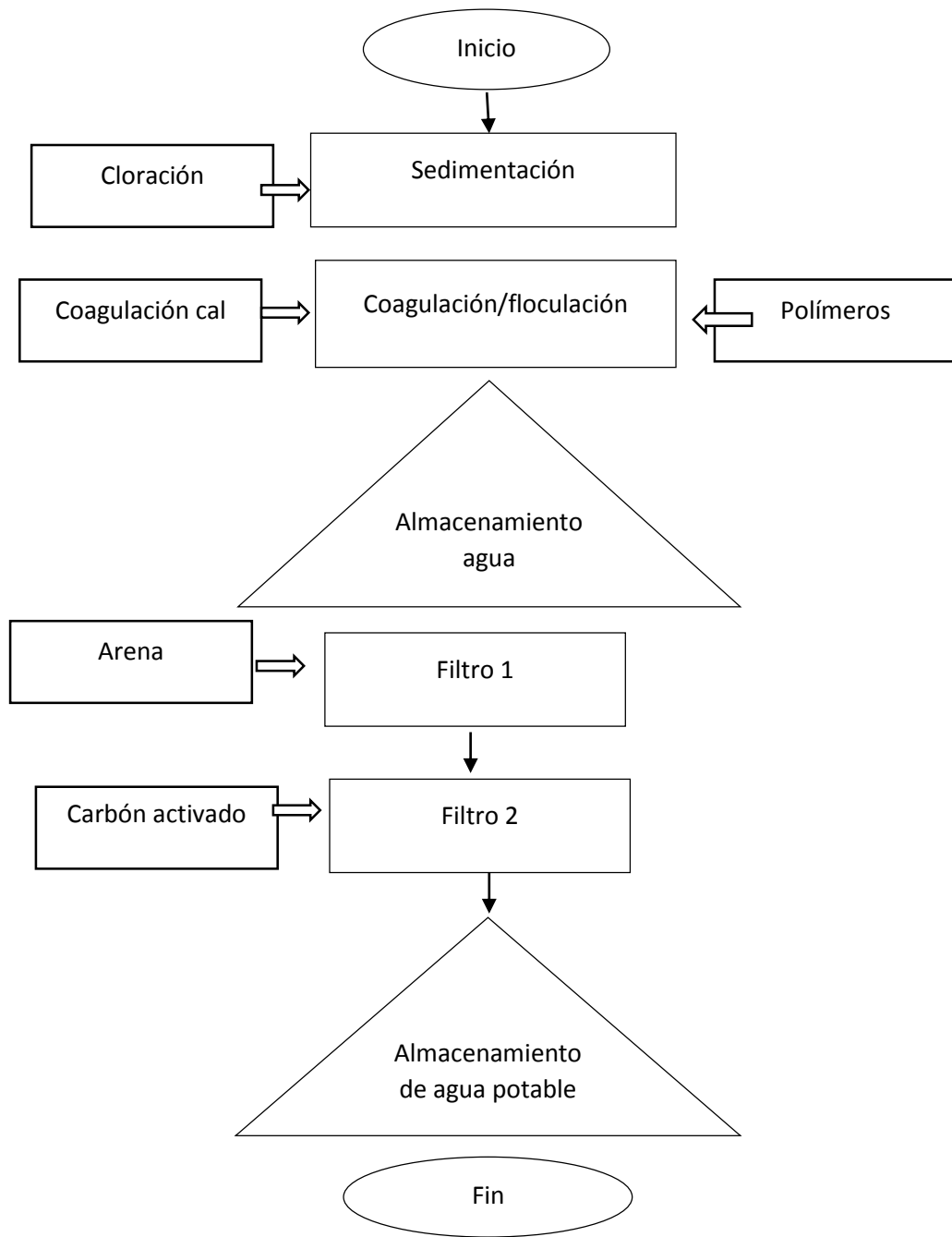
$$Q = 0,225m^3/h$$

Para abastecer a un promedio de 337 personas se necesitará un caudal de 0,225m<sup>3</sup>/h debido a que en cada albergue se presta atención a un número variable de familia, el caudal con el que se trabajó para los cálculos posteriores fue de 1m<sup>3</sup>/h

### Capacidad y selección de los equipo

Se debe seleccionar los equipos que mejor se adapten a las dimensiones puesto que la selección de los equipos esta restringida por el espacio que tiene el contenedor cuyas dimensiones se describen en la tabla número dos.

En el siguiente diagrama se muestra las etapas por las que el agua circula y en base al cual se determino la capacidad teniendo como referencia la producción de 1m<sup>3</sup>



**Figura 1.**

Diagrama de flujo de potabilización y purificación de agua

### **Captación de agua**

El agua debe ingresar por una manguera de 1 pulgada por medio de una criba seguida de una válvula check que impide que cuerpos extraños se introduzcan y que las bombas de succión se queden sin agua, puesto que la fuerza que ejerce el agua y los cuerpos extraños ejercen, mucha presión si se coloca la tubería con la criba sin protección esta colapsaría, por esta razón en el sitio donde se succione el agua adicional se colocara una malla sumergida que rodea la manguera para una doble protección.

### **Sedimentación**

Como sedimentación se optó por una piscina que brinda la facilidad de ser ubicada en cualquier sitio provisional con una cubierta plástica.

### **Coagulación y floculación**

Las operaciones de coagulación y filtración se llevarán a cabo dentro de un mismo equipo la capacidad de este equipo será de 2m<sup>3</sup>.

### **Almacenamiento de agua clarificada**

Esta agua semi tratada podrá ser usada para la cocina o aseo, para almacenar el agua se optó por una piscina de capacidad 6 m<sup>3</sup> y diámetro 2,76m, este reservorio contara con una cubierta que impida que el agua se contamine.

### **Filtrados**

El primer filtro es de arena y grava y el segundo filtro de carbón activado.

### **Almacenamiento final**

El agua potabilizada se almacena en un tanque de polietileno de alta densidad, puesto que la distribución es permanente la capacidad que tendrá este tanque será de 3m<sup>3</sup>.

### **Equipos, materiales y accesorios para la planta de potabilización y purificación**

**Bomba:** se requiere de tres bombas la primera que será la encargada de succionar el agua cruda, la segunda que se llevará el agua al equipo de coagulación y la tercera que traslada el agua del reservorio de agua potable a los filtros.

**Válvulas:** la válvula se empleará con el fin de regular el flujo y además que permita, que el fluido se detenga cuando las bombas requieran mantenimiento, las válvulas que mejor se adaptan son las de tipo globo y de tipo compuerta para la eliminación de lodos.

**Tubería:** las tuberías que trasladaran el agua serian de PVC.

Los siguientes equipos serán de uso del técnico responsable pero que también son considerados como parte del diseño de la planta móvil de potabilización.

### **Equipos para pruebas**

- Peachimetro
- Colorímetro
- Equipo para destilación de agua

### Estructura y adecuación del contenedor

Deben existir condiciones apropiadas para que las operaciones puedan llevarse a cabo, así como para que las personas puedan trabajar.

Las paredes laterales serán abatibles y cada una dividida en secciones, se dispondrá de una escalera móvil que será colocada a nivel del piso para tener acceso al contenedor.

Adicional el contenedor contara con iluminación y un mesón para las actividades de preparación de soluciones y análisis de agua.

### Costo de inversión

Dentro de estos costos están los relacionados a todos los equipos y demás accesorios previos al funcionamiento de planta.

**Tabla 5.**  
Costo de equipos y accesorios

Nombre del equipo y accesorio	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Contenedor de 20 pies	1	2000	2000
Adecuación		500	500
Equipo para coagulación y floculación	1	800	800
Filtro de lecho mixto	1	1100	1100
Filtro de carbón activado	1	1300	1300
Reservorios para agua cruda y tratada	2	600	1200
Tanque para almacenamiento	1	500	500
Bomba Jet	3	280	840
Bombas dosificadas	4	80	320
Válvulas de globo	17	15	255
Válvula chek	3	25	75
Válvula compuerta	2	15	30
Tubería	20	44	880
Cubierta para los reservorios	10	25	250
Equipos de laboratorios		1100	1100
Luminarias	2	15	30
Recipiente vario		100	100
Gastos adicionales		100	100
Total			\$11380

**Tabla 6.**  
Costo de inversión

Equipos Y Accesorios	11380
Mano de obra	900
Diseño	800
Total	\$13080

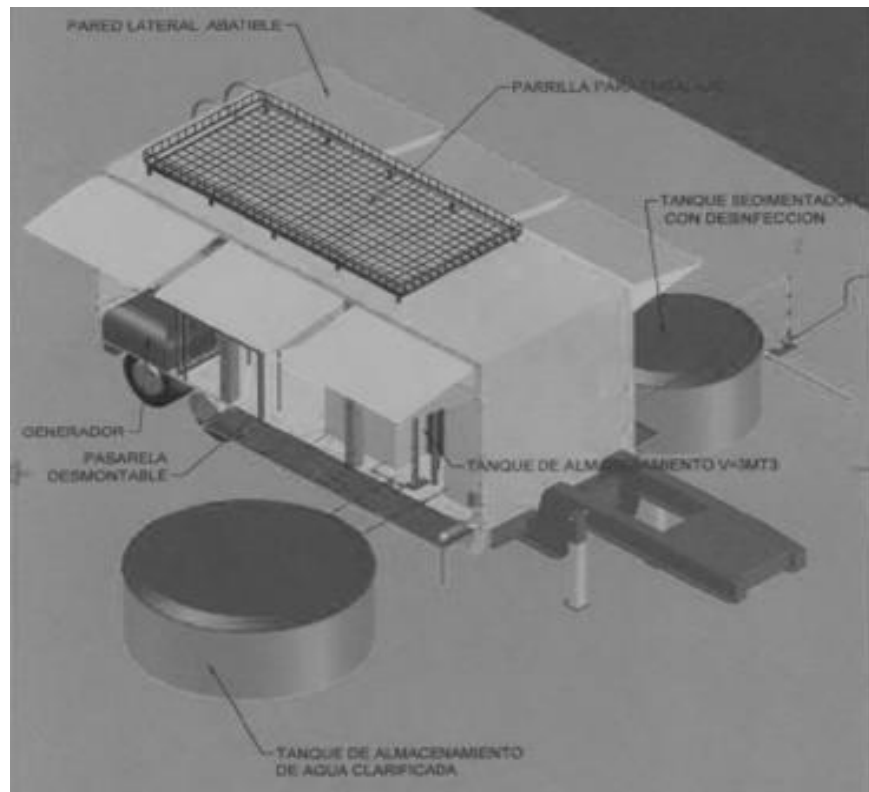


### Selección de alternativa

Para este proyecto se plantean tres escenarios:

- 1.- Comprar una planta potabilizadora en el extranjero
- 2.- Compra de planta potabilizadora de baja capacidad
- 3.- Diseño de una planta móvil potabilizadora de agua

Después de analizar las ventajas y desventajas de cada opción, llegamos a la conclusión que la tercera alternativa es la más opcionada.



*Figura 2.*

Prototipo de Planta Móvil

Esta nueva alternativa de planta de potabilización presenta las siguientes ventajas y desventajas.

### Ventajas

- Sistema completo de potabilización diseñado para usar fuentes de agua de abastecimiento municipal y por tanqueros.
- Planta compacta que requiere un área reducida de operación en comparación a plantas convencionales.
- Facilidad de uso y manejo
- Capacidad para trabajar en lugares donde no exista energía eléctrica
- Bajo costo de operación

## Desventajas

- Podría requerir para su funcionamiento una planta generadora de energía adicional.

## Conclusiones

La planta ha sido diseñada lo más compacta posible lo que da la facilidad de ser trasladada de un albergue a otro y ser puesta en operación en pocas horas luego de su instalación.

Para las etapas de potabilización se seleccionó equipos sencillos, en el caso del sedimentador y para el almacenamiento de agua clarificada al requerir mayor espacio se optó por el uso de piscinas que se ubicarán fuera del contenedor y que al momento de trasladarse podrán ser recogidas y ubicadas dentro del mismo. La desinfección se realizará en conjunto con la sedimentación para evitar que los equipos en las etapas subsiguientes se contaminen, además de permitir que el hipoclorito de sodio disponga de mayor tiempo de contacto lo que asegurara la destrucción de microorganismos patógenos causantes de enfermedades.

## Referencias

Arboleda J, (2002). *Teoría y práctica de la purificación de agua*. Tomo I. Bogotá, Colombia Recuperado de <https://Www.Casadellibro.Com/Libro-Teoria-Y-Practica-De-La-Purificacion-Del-Agua-3-Ed/>

Arboleda. J, (2002). *Teoría y práctica de la purificación de agua*. Tomo I. Colombia Recuperado de [www.Frlr.Utn.Edu.Ar/Index.Php?Option=Com\\_Joodb&View=&Articlejoobase=3&Id=2269:Teoria-Y-Practica-De-La-Purificacion-Del-Agua-Tomo-Ii&Itemid=640](http://www.Frlr.Utn.Edu.Ar/Index.Php?Option=Com_Joodb&View=&Articlejoobase=3&Id=2269:Teoria-Y-Practica-De-La-Purificacion-Del-Agua-Tomo-Ii&Itemid=640)

Cabrera, A., (2011). *Diseño de una planta móvil para potabilización del agua, Ecuador*. Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/15907/1/Dise%C3%B1o%20de%20una%20Planta%20Movil%20de%20Potabilizacion%20de%20Agua.pdf>

Kemmer, F. y Callion. J. (2015). *Manual del agua*. Tomo I. México, México

Portal Educativo de América (s.f.) *Filtros de agua. Puerto Rico*, Recuperado de [Http://Www.Salohogar.Com/Español/Desinfecciondelagua](http://Www.Salohogar.Com/Español/Desinfecciondelagua)

Romero. M., (2017). *Tratamiento utilizado en potabilización de agua, Guatemala*, Recuperado de [https://Es.Slideshare.Net/David\\_123456/Tratamientos-Utilizados-En-Potabilizacion-De-Agua](https://Es.Slideshare.Net/David_123456/Tratamientos-Utilizados-En-Potabilizacion-De-Agua)

# Efecto de la adición de leche entera sobre las características sensoriales, físico-químicas y rendimiento de queso ricotta elaborado con lactosuero de queso fresco

Sonia Rodas Espinoza  
Luis Fernando Arboleda Álvarez  
Paúl Stalin Ricaurte Ortiz

## Resumen

Esta investigación establece los efectos que se generan al añadir leche entera al suero lácteo y preparar queso ricotta precipitando las proteínas por calentamiento en medio ácido. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con tres repeticiones, las unidades experimentales se sometieron a evaluaciones físico-químicas y microbiológicas. Se ejecutó un análisis sensorial exploratorio para establecer aceptación de textura, color, olor, sabor, y grado de aceptación del producto. Estos exámenes muestran características organolépticas aceptables ya que no se registran diferencias significativas entre tratamientos. Los análisis microbiológicos se ajustaron a los requerimientos norma Ecuatoriana INEN. Los estudios de laboratorio confirmaron que los aspectos físico-químicos de los quesos tienen diferencias significativas y concluye que la manufactura del producto no muestra dificultades tecnológicas, reduce la contaminación ambiental y entrega productos con valor nutricional alto. La utilización de suero lácteo y leche entera fluida optimizó el rendimiento en peso, e incrementó la cantidad de sólidos totales del producto.

**Palabras Clave:** Efecto, Adición, Leche, Ricotta, Lactosuero.

## Abstract

This research establishes the effects that are generated by adding whole milk to whey and preparing ricotta cheese by precipitating the proteins by heating in an acid medium. A completely randomized design (DCA) with three replicates was used, the experimental units underwent physical-chemical and microbiological evaluations. An exploratory sensorial analysis was performed to establish acceptance of texture, color, odor, taste, and degree of product acceptance. These tests show acceptable organoleptic characteristics, as there are no significant differences between treatments. The microbiological analyzes were adjusted to the requirements of the INEN Ecuadorian standard. Laboratory studies confirmed that the physical and chemical aspects of cheeses have significant differences and concludes that the manufacture of the product shows no technological difficulties, reduces environmental contamination and delivers products with high nutritional value. The use of whey and whole milk fluid optimized the yield by weight, and increased the total solids of the product.

**Key words:** Effect, Addition, Milk, Ricotta, Whey.

## Introducción

En cualquier operación industrial donde se produzca queso, caseína o coprecipitados habrá un subproducto que ha dejado de ser un dolor de cabeza desde el punto de vista ecológico para convertirse en una materia prima muy valioso: El lactosuero (Schlimme, 2002).

Al tratar de los quesos y su fabricación, por repetidas ocasiones se ha mencionado el suero; aquel líquido de color amarillo-verdoso que queda después de extraída la cuajada y que, en volumen, representa,

aproximadamente el 80% del volumen de la leche empleada. Ese líquido está formado, principalmente por agua y en la cual se encuentran casi en su totalidad la albumina y la lactosa, una buena parte de las sales y un poco de la grasa escapada de la malla orgánica que forma el coagulo de la caseína. El contenido de todos estos cuerpos en el suero, varía con los diversos métodos de fabricación del queso. Pacurucu (2011)

Al ser el suero una valiosa fuente de lactosa, de proteínas, de numerosas vitaminas hidrosolubles (tiamina, ácido pantoténico, riboflavina, piridoxina y ácido nicotínico, entre otras). Esta composición justifica su extracción con vistas a utilidades diversas y su capacidad de utilización como sustitutos de materia grasa, bajando de esta manera las calorías del alimento Muñoz (2002).

Se han puesto a punto numerosos métodos para el aprovechamiento del suero y sus derivados, en Francia, durante la última guerra mundial, se recuperaron importantes cantidades de proteínas que contribuyeron a mejorar la dieta proteica, gravemente deficitaria, de los consumidores de la época (Veisseyre, 1988). Se estima que tan sólo el 70% de las proteínas y de la lactosa de la leche de vaca se utilizan como alimentos preparados (leche de consumo, crema, mantequilla, queso, etc) el resto se da en estado bruto a los animales; una parte se manufactura en productos técnicos y el resto se tira con las aguas residuales (Société d'edition et publicité agricoles, industrielles et commerciales, 1998). Por otro lado, las propiedades funcionales de los distintos sueros, concentrados y aislados de proteínas son innumerables: capacidad emulsificante, sustitución de grasa láctea en productos dietéticos, solubilidad, aireación, desarrollo de color y sabor, ligante de agua, viscosidad y solubilidad, entre otras. Igualmente, vastas son sus aplicaciones: postres, sopas y salsas, alimentos para bebés, quesos, helados, productos fermentados, alimentos y bebidas para deportistas, carnes, productos de panadería y pastelería, chocolate y sus confecciones, etc. Jelen (1998)

### **Materiales y métodos**

En la Planta de Lácteos "San Salvador", ubicada en el cantón Riobamba, provincia de Chimborazo se evaluó el efecto del uso de leche entera como ingrediente adicional al suero lácteo resultante de la elaboración de queso fresco, manejamos cinco tratamientos (porcentaje de leche agregada) confrontados con un tratamiento control (solamente suero lácteo) con tres repeticiones por tratamiento, el tamaño de la unidad experimental fue de 150 litros por lote manipulado, con un total de 18 unidades experimentales y 2362,5 litros de lactosuero más 337,5 litros de leche entera. Gonzalez (1985).

Los ensayos se conformaron de la siguiente manera:

C: 0% testigo, L5: 5%, L10: 10%, L15: 15%, L20: 20%, L25: 25%.

Los tratamientos experimentales se sujetaron conforme al diseño completamente al azar (DCA), el bosquejo del ensayo empleado en la investigación se detalla en la tabla 1.

**Tabla 1.**

Esquema del experimento

Tratamiento (porcentaje leche fluida)	Código	Repeticiones	Tamaño de la unidad experimental (litros/tratamiento)	Total (litros)
0	C	3	150	450
5	L5	3	150	450
10	L10	3	150	450
15	L15	3	150	450
20	L20	3	150	450
25	L25	3	150	450
TOTAL				2700

Fuente: Autores

**Proceso de elaboración del queso ricotta**

1. La obtención experimental de ricotta empieza utilizando suero dulce proveniente de la fabricación de queso fresco con acidez titulable entre 12 y 15<sup>0</sup>D.
2. Se elevó la temperatura del suero lácteo que se halla aproximadamente a 35<sup>0</sup>C mediante inyección directa de vapor agitando constantemente.
3. Se suspendió la agitación a los 65-70<sup>0</sup>C y agregamos los porcentajes de leche entera al suero propuestos para cada tratamiento.
4. Posteriormente se añadió 150g de ácido cítrico (1g por litro de solución suero leche) cuando la temperatura alcanzó los 90<sup>0</sup>C y se obtuvo una acidez titulable de 20-24<sup>0</sup>D y pH entre 5,0-5,4 como promedios entre experimentos.
5. Las proteínas ascienden a la superficie hacia el centro de la cuba, y esperamos durante 30 minutos hasta que la cuajada adquiriera firmeza.
6. Con la ayuda de coladores se recogió en cestas plásticas la cuajada formada y dejamos drenar durante 5-10 minutos.
7. Luego las canastillas se depositan en el cuarto frío para que continúe el proceso de desuerado por gravedad hasta la mañana siguiente.
8. Se pesó el rendimiento y se añadió 0,5% de sal del valor total de ricotta que se obtuvo.

**Resultados**

En la tabla 2 se analizan las diferentes combinaciones de lactosuero y leche entera empleadas en la elaboración del queso ricotta.

**Tabla 2.**

Análisis físico-químico de queso ricotta

Análisis	Mezclas					
	0%	5%	10%	15%	20%	25%
Acidez titulable, <sup>0</sup> D	24	17	17	16	16	15
Ph	5,12	6,43	6,50	6,45	6,30	6,49
Grasa, %	0,05	0,58	0,88	0,95	1,26	1,32
Proteínas, %	2,63	2,73	2,83	2,74	2,84	2,87
Sólidos no grasos, %	7,20	7,27	7,54	7,29	7,57	7,65
Densidad, g/ml	1,026	1,02703	1,02783	1,02677	1,02760	1,02787

Fuente: Autores

Estadísticamente estos resultados muestran diferencias significativas entre los quesos ricotta 0% y 25%.

### Caracterización físico-química de los productos obtenidos

En la tabla 3 se realizó la caracterización físico – química de los productos obtenidos.

**Tabla 3.**

Caracterización físico-química del queso ricotta

Análisis	Resultados					
	0%	5%	10%	15%	20%	25%
Humedad, %	70,13	70,04	69,97	69,87	69,48	69,49
pH	5,12	5,09	5,21	5,21	5,21	5,36
Proteínas, %	13,44	13,71	13,86	13,96	13,99	14,09
Grasa, %	11,93	11,97	12,05	12,04	12,13	12,21
Cenizas, %	1,11	1,11	1,13	1,20	1,22	1,24
Sólidos totales, %	29,86	30,02	30,13	30,50	30,52	32,96

Fuente: Autores

### Rendimiento alcanzado por cada uno de los tratamientos

En la tabla 4, registra los resultados del rendimiento práctico alcanzado para cada una de las unidades experimentales estudiadas. Notablemente vemos que la leche y sus componentes proteicos revisten una gran importancia en los diferentes niveles experimentales estudiados por su evidente interés nutricional y su influencia en el rendimiento de los lácteos, especialmente del queso, en el que se le atribuye la mayor influencia seguida de la materia grasa.

**Tabla 4.**

Rendimiento obtenido para cada una de las mezclas empleadas en la elaboración del queso tipo ricotta

Porcentaje leche añadida (%)	Volumen de leche cruda (litros)	Volumen de suero (litros)	Volumen total mezcla (litros)	Rendimiento práctico de la cuajada (Kg)	Rendimiento (%)	Rendimiento teórico (kg/100 litros de suero)
0	0	150,00	150	4,42	2,95	30,33
5	7,50	142,50	150	6,78	4,52	30,54
10	15,00	135,00	150	8,18	5,45	30,75
15	22,50	127,50	150	8,70	5,80	30,79
20	30,00	120,00	150	10,39	6,93	30,96
25	37,50	112,50	150	10,86	7,24	31,14

\*Valores promedio de tres repeticiones

Fuente: Autores

### Análisis microbiológico del queso ricotta

La tabla 5 ilustra los resultados de la evaluación microbiológica realizada a una muestra de queso ricotta tomada al azar de entre los 18 lotes del proyecto de investigación, un indicador comúnmente considerado para apreciar la calidad microbiológica de los quesos lo constituye la cuenta total de mesófilos aerobios, este parámetro de calidad revela, de alguna manera, la carga total de microorganismos en los lácteos.

Los resultados de la cuenta microbiana reportan unidades formadoras de colonias que se hallan dentro de las especificaciones que exige la norma NTE INEN 86:2013 para el queso ricotta y no determina la perecibilidad y la alterabilidad del queso, aunque la presencia de ellas se deba a fallas en el manejo del producto elaborado o del proceso productivo. El crecimiento de estos microorganismos se debe al alto porcentaje de humedad que presentan los quesos. Según Monsalve (2005)

Cabe anotar el motivo de no realizar recuento de microorganismos a todos los tratamientos, pues todas las muestras fueron tratadas bajo normas de Buenas Prácticas de Manufactura y el estudio propuesto no contempla el tiempo que permanezca inalterable la carga microbiana en el queso ricotta.

**Tabla 5.**

Cuenta microbiana del queso ricotta

Parámetro	Resultados (ufc)
Aerobios Mesófilos UFC/g	3
Coliformes Totales UFC/g	24
(Staphylococcus aureus ) UFC/g	Ausencia
Mohos y Levaduras UFC/g	2

**Fuente:** Autores

### **Análisis de costos**

En la tabla 6 el análisis económico que reportamos establece los costos de producción para 250 gramos de queso, verificamos que este es mayor en el tratamiento sin adición de leche.

**Tabla 6.**

Costos de producción del ricotta

Queso control (0% de leche)	0	81 USD
Queso ricotta L5%	0	62 USD
Queso ricotta L10%	0	59 USD
Queso ricotta L15%	0	62 USD
Queso ricotta L20%	0	50 USD
Queso ricotta L25%	0	61 USD

**Fuente:** Autores

El costo que se obtiene con las unidades experimentales de queso sin leche y queso con leche es aceptable por lo tanto si la empresa decide comercializar los quesos, su precio estaría al alcance del consumidor final tomando en cuenta que lleva a casa un producto sano y de alta calidad nutricional. A los tratamientos se les sometió a un análisis de costos de producción para una presentación de 250g utilizando envases de polietileno de alta densidad. El beneficio costo del queso elaborado sin leche presenta una cifra de 1,86 es decir que por cada dólar que se invierte se obtiene 0,86 centavos de dólar de ingreso. Pero con los demás quesos este valor sube así tenemos que con el queso al 5% su beneficio costo es 2,43 dólares. Por lo tanto, recibimos 1,43 centavos de dólar por dólar invertido. Se demuestra que con la adición progresiva de leche al suero el rendimiento aumenta y por consiguiente la rentabilidad para la empresa también

## Conclusiones

Se concluye lo siguiente:

- La adición de los diferentes porcentajes de leche añadidos al suero, mejoran las características físico-químicas y el rendimiento del queso ricotta, si lo comparamos con la muestra testigo.
- En los parámetros sensoriales evaluados ninguno registró diferencias estadísticamente significativas entre el testigo y los tratamientos con diferentes porcentajes de leche.
- De acuerdo al análisis microbiológico los quesos manufacturados son aptos para el consumo humano, su cuenta microbiana de coliformes es baja y la presencia de mohos y levaduras está dentro de los parámetros que exige la norma NTE INEN 86:2013 para el queso ricotta.
- El costo que se obtiene con las unidades experimentales es aceptable por lo tanto si la empresa decide comercializar los quesos, su precio estaría al alcance del consumidor final tomando en cuenta que lleva a casa un producto sano y de alta calidad nutricional.
- Se puede procesar queso tipo ricotta de acuerdo con las técnicas que se emplearon para su obtención sin afectar mayormente las condiciones del proceso utilizado en la planta de Lácteos San Salvador.

## Referencias

- González, G. (1985). *Métodos estadísticos y principios de diseño experimental*, Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- INEN (2013). *Primera revisión Instituto Ecuatoriano de Normalización. INEN, NTE INEN 86-2013, Queso Ricota*.
- Jelen, P. (1998). *Alimentos funcionales: aspectos bioquímicos y de procesado*, Madrid, España: Editorial Acribia.
- Monsalve, J. y González, D. (2005). Elaboración de un queso tipo ricotta a partir de suero lácteo y leche fluida. *Revista Científica, FCV-LUZ 15*, pp. 543 - 550.
- Muñoz, M. (2002). *Los alimentos y sus nutrientes. Tablas de valor nutritivo de alimentos*. México, México: McGraw Hill Interamericana.
- Pacurucu, A. (2011). *Plan de manejo ambiental para la industria láctea Productos San Salvador*, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo:Ecuador. (Tesis de grado).
- Schlimme, E. (2002). *La leche y sus componentes, propiedades químicas y físicas*. Madrid, España: Editorial Acribia.
- Veisseyre, R. (1988). *Lactología técnica recogida, tratamiento y transformación de la leche en países templados y calientes*. Madrid, España: Editorial Acribia.



# Diseño e implementación de un robot para guía de actividades lúdicas en niños de 1 y 3 años

**Giovanny Cuzco Silva**

Universidad Nacional de Chimborazo  
gcuzco@unach.edu.ec

**Fernanda Sánchez Tenelanda**

Universidad Nacional de Chimborazo  
Fey1993@hotmail.com

**Jairo Casco Rosero**

Universidad Nacional de Chimborazo  
Jccj1990@gmail.com

## Resumen

El artículo analiza el desarrollo de recursos para la educación con apoyo de la robótica, creando una educación tecnológica. El robot guía propone realizar la interacción de actividades lúdicas en niños de 1 a 3 años, se toma como muestra a niños de la Centro Infantil CIBV, donde el objetivo principal fue demostrar la robótica aplicada a la educación mediante el desarrollo de una interfaz interactiva y didáctica, la metodología aplicada es investigación educativa y estrategias a través de dispositivos tecnológicos, con fines de implementar la robótica en un aula de clases y ayudar al docente a impartir nuevos conocimientos. Los resultados demostraron que la robótica puede convertirse en una herramienta para desarrollar competencias básicas, al realizar pruebas de desempeño de actividades lúdicas, se observó que gran parte se adaptó al nuevo sistema en el que se trabajó en equipo junto con la docente, demostrando que del 100% de niños y niñas, el 90% presentaron un avance en las actividades lúdicas al 100%, mientras que el 10% no logró obtener el avance debido a que se incorporó a este salón en las últimas semanas de pruebas, sin embargo mostro un avance en las actividades en un 50%.

**Palabras claves:** Actividades lúdicas, Robótica, Aprendizaje, Lúdica, Educación, Tecnología.

## Abstract

The article analyzes the development of resources for education with the support of the robotics, creating a technological education. The robot guide proposes to carry out the interaction of play activities in children aged 1 to 3 years, it is taken as a sample of the children's center CIBV, where the main objective was to demonstrate the robotics applied to education through the development of a didactic and interactive interface. The methodology applied is educational research with strategies through technological devices, for the purpose of implementing the robotics in a classroom and help the teacher to impart new knowledge. The results showed that the robotics can become a tool to develop basic skills, to carry out performance tests of recreational activities, it was noted that a large part was adapted to the new system in which team work together with the teacher, Demonstrating that the 100 per cent of boys and girls, 90% had a breakthrough in the recreational activities to 100%, while 10% was not able to obtain the advance due to the fact that joined this hall in the last weeks of evidence, however showed an improvement in the activities in a 50%.

**Keywords:** Ludic activities, Robotics, Learning, Ludic, Robotics, Education, Technology.

## **Introducción**

### **Introducción al problema**

La robótica se convierte en un área muy significativa en el ámbito educativo, social, cultural que permite el aprendizaje de los seres humanos y desarrollo en la industria. A este fenómeno lo podemos llamar “evolución tecnológica”.

Incluir la robótica como parte de un salón de clase tiene como fin aprovechar los diferentes medios de aprendizaje donde el estudiante puede percibir los problemas del mundo real, imaginar y poner en marcha las posibles ideas (Del Mar, 2006; Aliane, 2007).

Permite activar procesos cognitivos y sociales que proporcionan una parte significativa en el estudiante. Estos son generados gracias a las relaciones e interacciones que ocurren en el aula de clase entre los estudiantes y docentes., dependiendo de los recursos con los que cuente (Acuña, 2006).

El principal objetivo de la guía de actividades lúdicas se realiza mediante la implementación de un robot, en el cual la parte mecánica y electrónica sea el principal eje para el desarrollo, creando una interfaz la cual permita realizar las diferentes actividades lúdicas de la planificación a tratar con los estudiantes, al implementar de una manera más amigable el interés en la tecnología y la robótica educativa desde edades tempranas.

Realizar este proyecto implica trabajar en diferentes áreas como la electrónica, informática, mecánica y estadística que ayudan a poner en ejecución esta investigación como un elemento innovador e introducir a los estudiantes en nuevas tendencias.

En este artículo se exploran los beneficios de la robótica en procesos de aprendizaje y como generar ambientes de enseñanza interdisciplinarios basados en inteligencia artificial.

### **Importancia del problema**

En el Centro Infantil CIBV, se constató que los docentes a cargo de los niños comprendidos en edades de 1 y 3 años, no dispone de ayuda suficiente para cada niño, por lo que requiere de herramientas para impartir conocimientos de una manera más interactiva para los niños.

En la actualidad los robots realizan una o varias tareas en tiempos sumamente cortos y de manera más efectiva. Dentro de la pedagogía se destaca el área de actividades lúdicas, siendo un elemento básico en educación, adquisición y desarrollo de conocimientos teóricos llevados a la práctica, donde se desarrolla habilidades motoras que son impartidas en los primeros años de vida del niño o niña.

El proyecto nace con la necesidad de mejorar la forma de impartir los conocimientos gracias a los beneficios de la robótica. El desarrollo tecnológico permite crear modelos de investigación capaces de realizar determinadas operaciones consideradas propias de los seres humanos.

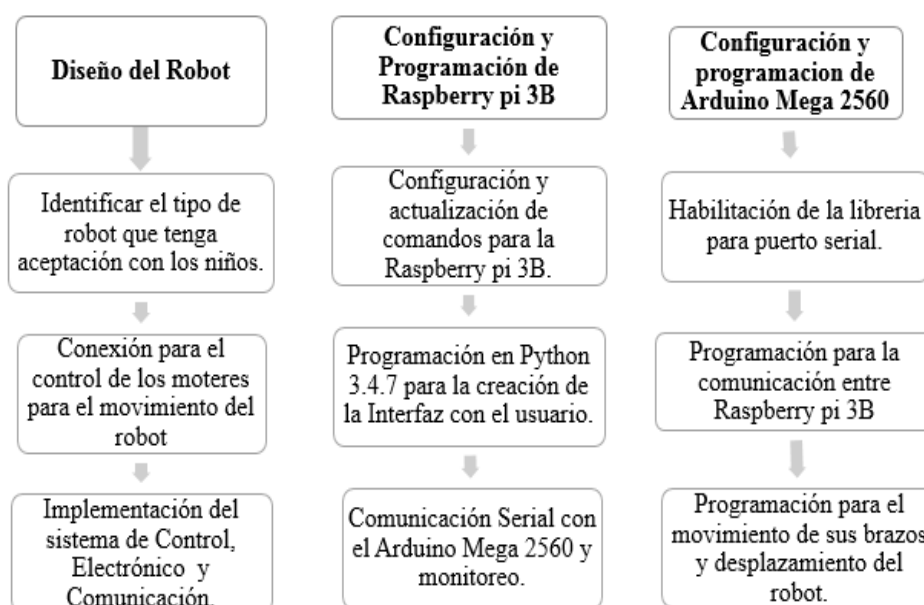
El diseño del Robot para Guía de Actividades Lúdicas de niños entre 1 a 3 años, ayudará a los docentes a impartir una educación inicial en un ambiente científico e interactivo.

## Metodología

Ofrece la posibilidad de indagar en el conocimiento construido en los contextos de vida de la familia mapache, en el que se entrelazan elementos sociales, culturales, simbólicos y espirituales, considerados vitales en la Formación de los niños y jóvenes (Quilaqueo & San Martín, 2008; Quilaqueo & Quintriqueo, 2010).

Se completa el proyecto con una investigación analítica/deductiva que inicia con un análisis de los componentes necesarios para el desarrollo del prototipo y la forma de interactuar con el usuario de una manera óptima.

La metodología analítica consiste en la recopilación de información para el desarrollo del proyecto, dando las pautas necesarias al momento del diseño y construcción del robot para guía de actividades lúdicas, implementándose de la siguiente manera y cumpliendo los procesos que se observan a continuación.



**Figura 1.**

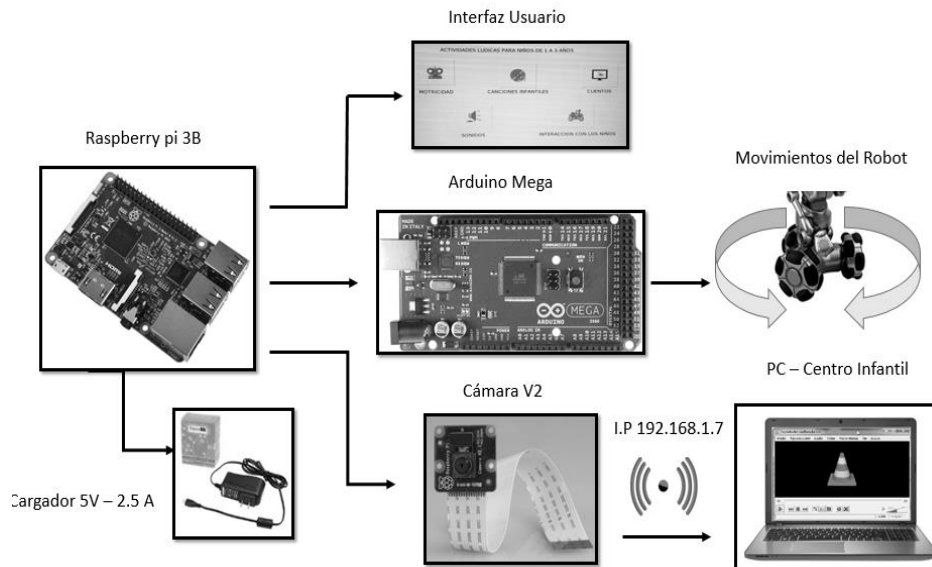
Diagrama de Procedimiento de diseño del Robot

**Fuente:** Autores

## Diagrama de Funcionamiento

El robot interactivo y didáctico cuya parte superior tiene forma humanoide, capaz de realizar movimientos propios de los seres humanos. En la parte inferior tiene un sistema de tracción omnidireccional que le permite el desplazamiento en diferentes direcciones, con ayuda de 6 motores.

En la cabeza, el robot cuenta con la tarjeta Raspberry pi 3B, donde se programa la interfaz del usuario, y un dispositivo de video que permite realizar el monitoreo por medio Wi-fi hacia un PC mediante el programa Reproductor Multimedia VLC.



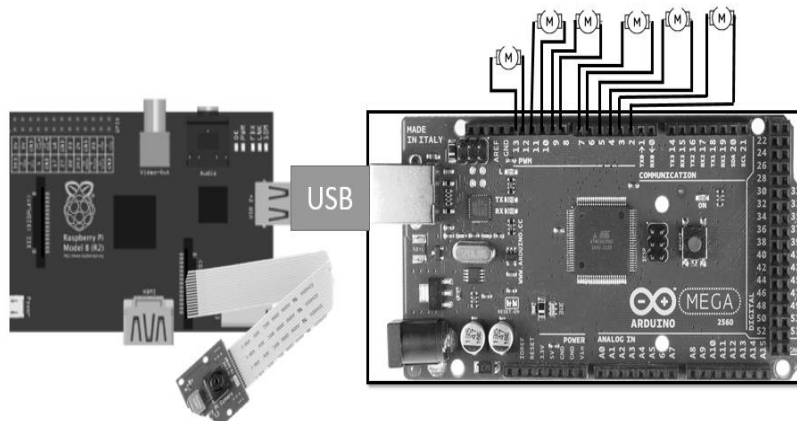
**Figura 2.**  
Diagrama de Conexión  
**Fuente:** Autores

### Construcción del Robot

Al realizar el análisis mecánico del robot se toma en cuenta la estabilidad del prototipo, debido a su peso, determinando el centro de gravedad para poder realizar las interacciones adecuadas para las actividades lúdicas. Es importante tomar en cuenta que el tamaño de la pantalla debe ser confortable al usuario, motivo por el cual se trabajó con una pantalla de 7”.

### Implementación del Circuito Electrónico

La implementación del circuito electrónico se realiza de la siguiente manera, una cámara por medio de un bus de datos a la tarjeta Raspberry pi 3B y al módulo Arduino por medio de cable USB.

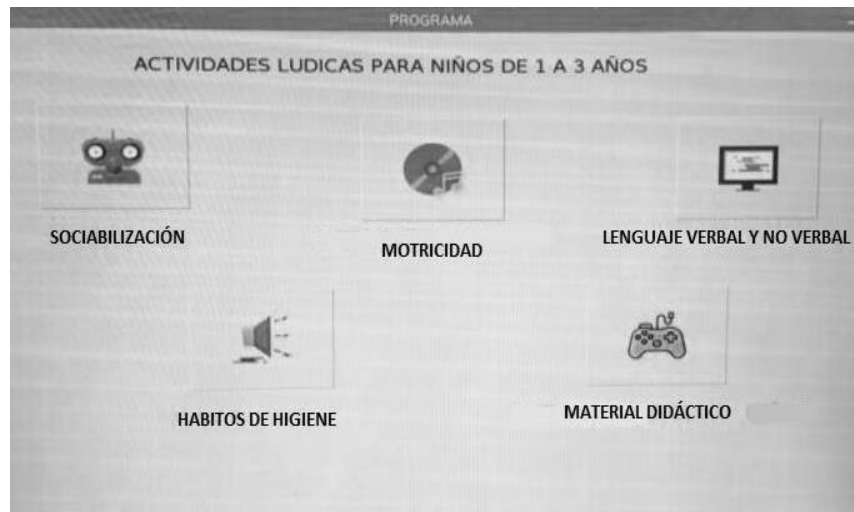


**Figura 3.**  
Diagrama de Conexión Arduino Mega y Motores  
**Fuente:** Autores

### Programación Python 3.4.7

El diseño de la interfaz gráfica para el usuario consiste en mostrar en la pantalla las diferentes actividades lúdicas que podrá realizar el robot para la labor y ayuda a los docentes.

Consta de 5 botones que permite trabajar en áreas como: motricidad, sociabilización, lenguaje verbal y no verbal, material didáctico y hábitos de higiene. Con ayuda de canciones infantiles y cuentos que estimulen y desarrollen el aprendizaje en los niños.



**Figura 4.**

Interfaz Usuario

**Fuente:** Autores

Se debe activar el puerto virtual el cual habilita la comunicación con Arduino Mega. El monitoreo, se lo realiza con la ayuda de comunicación remota de la tarjeta Raspberry pi 3B hacia otro PC, por medio de WI-FI con una dirección IP estática, el video se lo puede observar desde el Reproductor de Media VLC desde otro PC.



**Figura 5.**

Actividades realizadas por el robot junto con los niños y niñas

**Fuente:** Autores

## Resultados

La integración de la robótica genera mejoras y óptimos resultados en la educación, formando estudiantes con capacidad de poner en práctica la teoría. Ayuda a fomentar desde edades tempranas la interacción entre humano y máquina.

Al realizar las actividades lúdicas se trabajó en 5 áreas, con una muestra de 11 niños y niñas, donde se planteó incrementar el nivel del conocimiento, mediante actividades programadas en la interfaz.

### Sociabilización

En esta área se trabaja con tres tipos de aspectos que serán evaluados antes y después de la implementación del robot, se enfoca a la interacción grupal, interacción hombre y máquina y el grado de atención que presentan los niños.

Analizando el diseño del robot y la aceptación de los niños se observó que el prototipo tiene un aspecto amigable fomentando la interacción grupal en un 91 % y un 9% en proceso de aceptación; entendiendo la interacción hombre maquina a la interfaz presentada para el trabajo con niños y docentes observado un avance del 91 % y un 9% en adaptación a la interfaz, obteniendo un 100% en la atención prestada al robot.

En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos antes y después de la interacción con el robot.

**Tabla 1.**

Resultados de desempeño sociabilización

Indicador de Evaluación	Antes		Después	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
Iniciada	3	27%	0	0%
En Proceso	8	73%	1	9%
Adquirida	0	0%	10	91%
Total	11	100%	11	100%

Fuente: Autores

### Material didáctico

En esta área se trabaja en un solo aspectos que será evaluado antes y después de la implementación del robot, se enfoca a guardar los juguetes, analizando los movimientos y desplazamiento del robot, el 82 % de los niños lograron realizar esta actividad y un 18% se encuentra en proceso.

**Tabla 2.**

Resultados de desempeño área material didáctico

Indicador de Evaluación	Antes		Después	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
Iniciada	4	36%	0	0%
En Proceso	6	55%	2	18%
Adquirida	1	9%	9	82%
Total	11	100%	11	100%

Fuente: Autores

### Hábitos de higiene

Se incluye como un aprendizaje permanente motivo por el que consta como un área en la cual el robot debe interactuar con los niños y niñas, mediante los movimientos de sus extremidades superiores, obteniendo los siguientes resultados el 85% logro alcanzar las actividades de higiene y el 15% se encuentra en adaptación.

**Tabla 3.**

Resultados de desempeño área hábitos de higiene

Indicador de Evaluación	Antes		Después	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
Iniciada	2	18%	0	0%
En Proceso	9	82%	2	15%
Adquirida	0	0%	9	85%
Total	11	100%	11	100%

Fuente: Autores

### Motricidad y exploración del cuerpo

En esta área se trabaja con tres tipos de aspectos que serán evaluados antes y después de la implementación del robot, enfoca a ejercicios planificados con el robot, movimientos de brazos y desplazamiento e identificar partes gruesas del cuerpo.

Gracias al diseño del robot se realizó actividades que permiten infundir el desarrollo de aprendizaje en las actividades motrices gruesas, en desarrollo de ejercicios planificados con el robot se obtuvo un avance grupal del 91% y un 9% en proceso; al referirse a movimientos de brazos y desplazamiento se demuestra que el 82% logró imitar los movimientos y el 18% realiza los movimientos pero no culmina la actividad; al identificar las partes gruesas del cuerpo se obtuvo un avance del 73% y un 27% que no logró identificar todas las partes del cuerpo.

En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos antes y después de la interacción con el robot.

**Tabla 4.**

Resultados de desempeño área motricidad

Indicador de Evaluación	Antes		Después	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
Iniciada	2	17%	0	0%
En Proceso	8	67%	1	9%
Adquirida	1	17%	10	91%
Total	11	100%	11	100%

Fuente: Autores

### Lenguaje verbal y no verbal

Gracias al diseño e interfaz del robot se realizó actividades que permiten enseñar de una manera más interactiva y dinámica, el desempeño que ponen los niños sobre las actividades del robot se obtuvo un 73% que logró enfocarse en su totalidad y un 27% se distrae con facilidad por la intriga de todo lo que hace el robot y el 82% de los niños logró imitar todos los movimientos del robot y el 18% aún sigue en proceso.

El proceso de análisis de la interacción del robot, tomo tres aspectos principales: iniciado, proceso, adquirido, mediante el método de correlación que permite relacionar dos variables un antes y un después que determina si dos individuos con una puntuación alta o baja en una variable también pueden tener una puntuación alta o baja en la segunda variable.

En el proceso iniciado con un 22% de niños que presentaban problemas para realizar actividades, un 39% de niños se encontraban en proceso de aprendizaje y un total de 39% de niños que han adquirido conocimientos.

Luego del trabajo realizado con el robot en el proceso inicial ya no se cuenta con niños dando un 0%, alcanzando un 17% de niños en proceso de aprendizaje y llegando a tener un total de 87% de niños que adquirieron conocimientos.

Como resultado final tenemos que de 39% de niños que iniciaron el trabajo con el robot, se llegó al 87% de niños en la etapa de conocimientos adquiridos dando un incremento significativo de un 48% por los niños con los que se trabajó en su enseñanza.

### **Discusión**

En los resultados de este proyecto de investigación, donde el robot ayuda al docente a explorar nuevos métodos para impartir conocimientos en niños y niñas entre 1 a 3 años, por medio de actividades programadas dependiendo de la planificación educativa, obteniendo un enfoque intercultural, donde el docente genera espacios de conocimiento y de validación con el alumno desde su propia realidad.

Al referirse a actividades lúdicas planificadas en el robot, se orienta en 5 áreas, educativas en la formación de la personalidad del niño o niña. Al analizar los resultados obtenidos en cada área antes y después de la implementación, el robot intercede más en las áreas de Material Didáctico y Hábitos de Higiene. Lo que nos permite comprobar que el proyecto es factible de la siguiente manera.

H<sub>0</sub>: El robot **no** estimula el nivel de aprendizaje de actividades lúdicas en los niños de 1 a 3 años.

H<sub>1</sub>: El robot estimula el nivel de aprendizaje de actividades lúdicas en los niños de 1 a 3 años.

Para su comprobación se realiza un análisis de las 5 áreas en las que interviene el robot con los niños y niñas, evalúa a cada niño o niña antes y después de la implementación del robot. Como se observa en la Tabla N° 5.

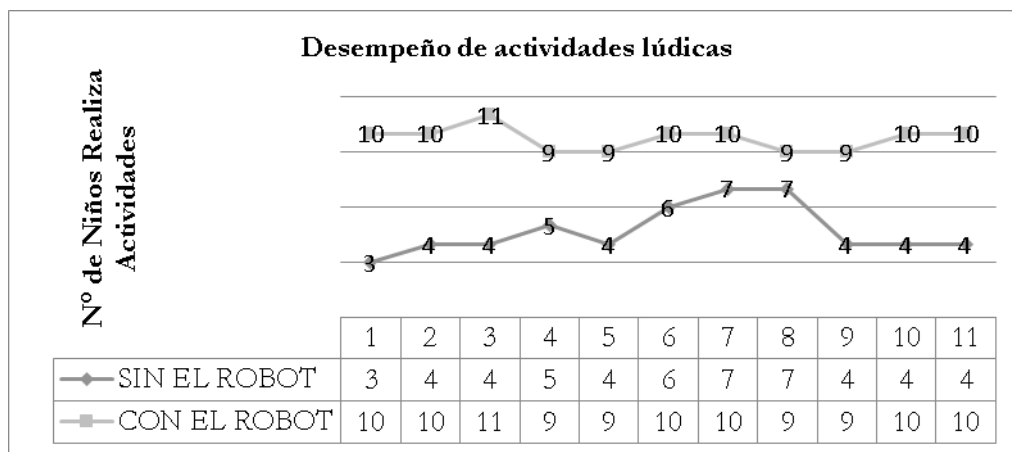


**Tabla 5.**

Resultados de desempeño actividades lúdicas

Activ. Lúdicas desarrolladas	N° de niños que realiza actividades		
	Sin el robot	Con el robot	Total
Socialización	1	3	10
	2	4	10
	3	4	11
Material didáctico	4	5	9
Habitos de higiene	5	4	9
Motricidad	6	6	10
	7	7	10
	8	7	9
Lenguaje verbal y no verbal	9	4	9
	10	4	10
	11	4	10

Fuente: Autores



**Figura 6.**

Demostración de resultados obtenidos

Fuente: Autores

El nivel de significancia de alfa es  $\alpha = 0,05\%$  que representa el 5% y con un 95% de confianza. Analizar el nivel de confianza que tiene el proyecto de investigación se trabaja con las frecuencias observadas y las esperadas como se muestra en la Tabla N° 6.

**Tabla 6.**

Frecuencias esperadas y observadas

Frec. Observada	3	4	4	5	4	6	7	7	4	4	10	10	11	9	9	10	10	9	9	10	10
Frec. Esperada	4	5	5	5	4	5	6	5	4	5	5	9	9	10	9	9	11	11	9	9	9

Fuente: Autores

### **Para cálculo del grado de libertad**

Se demuestra que las actividades lúdicas que realiza el robot ayuda al desarrollo de un aprendizaje en los niños y niñas de 1 a 3 años de manera más interactiva y didáctica

### **Conclusiones**

Se puede señalar que la implementación del proyecto ha tenido un desempeño favorable en las actividades lúdicas, gracias a la implementación de la robótica educativa, permitiendo enseñar de una manera más didáctica y novedosa a los estudiantes, formando parte de una educación tecnológica e innovadora.

Al realizar las pruebas en el Centro Infantil CIVB el docente indicó que este proyecto es novedoso, motivo por el cual los niños se ven dispuestos a realizar e imitar todas las actividades que el robot puede cumplir. Determinando un resultado óptimo en el desempeño de cada actividad.

Como resultado final de la investigación se concluye que los 11 niños y niñas, 10 presentaron un avance en las actividades lúdicas al 100%, mientras que un niño no logro obtener el avance ya que el niño se incorporó a este salón en las últimas semanas de pruebas, sin embargo, mostro un avance en las actividades en un 50%.

Para obtener resultados óptimos en las actividades planificadas el docente debe realizar una pequeña introducción del tema, para que los niños tengan una noción de lo que se va a realizar y el robot pueda reforzar o aclarar conocimientos mediante canciones, cuentos, movimientos y juegos programados.

La etapa de implementación consiste en la adquisición de diferentes herramientas de software y hardware que permitan la construcción y programación del robot. Finalmente, la etapa de definición del uso pedagógico de los recursos tecnológicos plantea que este tipo de herramientas deben estar acompañadas de buenas prácticas para que puedan contribuir al conocimiento de los estudiantes.

### **Agradecimiento**

Agradecimientos especiales a la Licenciada Norma Ramos, Directora del Centro Infantil CIVB en la Ciudad de Riobamba, quien participó y apoyó la presente iniciativa.

Agradecimientos especiales a la Licenciada Marcia Hidalgo, docente distinguido del Centro Infantil CIVB en la Ciudad de Riobamba, quien participó y apoyó la presente iniciativa.

### **Referencias**

Aliane, N., Bemposta, S., Fernández, J., Egido V. (2007). *Una experiencia práctica de aprendizaje basado en proyecto en una asignatura de robótica*. Recuperado de <http://bioinfo.uib.es/~joemiro/aenui/procjenui/Jen2007/alunae.pdf>.

Clavel, R. (1989). Une nouvelle structure de manipulateur parallèle pour la robotique légère. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, 6, 23, pp. 501-519.

Del Mar, A. (2006). *Planificación de actividades didácticas para la enseñanza y aprendizaje de la ciencia y tecnología a través de la Robótica Pedagógica con enfoque CTS*. Recuperado de <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAQ6345.pdf>.

- Hepp, Pedro & Merino, María & Barriga, Victoria & Huircapán, Andrea (2013). Tecnología robótica en contextos escolares vulnerables con estudiantes de la etnia Mapuche. *Estudios Pedagógicos XXXIX, Número Especial 1*: pp. 75-84.
- Hernández, R. (2008). El modelo constructivista con las nuevas tecnologías: aplicado en el proceso de aprendizaje. *Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento (RUSC)*, 5, 2. Recuperado de <http://www.uoc.edu/rusc/5/2/dt/esp/hernandez.pdf>
- Ibarra, R., Arteaga, G., Maya P. (2008). *Un ambiente de aprendizaje con la robótica pedagógica para embalaje*. Recuperado de: [http://148.204.73.101:8008/jspui/bitstream/123456789/388/1/1\\_-\\_1-ibarraquevedoraul.pdf](http://148.204.73.101:8008/jspui/bitstream/123456789/388/1/1_-_1-ibarraquevedoraul.pdf).
- Odorico, A. (2004). Marco teórico para una robótica pedagógica. *Revista de Informática Educativa y Medios Audiovisuales*, pp. 34-46. Recuperado de <http://laboratorios.fi.uba.ar/lie/Revista/Articulos/010103/a4oct2004.pdf>
- Projects for educational robotics: engines for the innovation. *Current Developments in Technology-Assisted Education 2006*, pp. 951-956. Recuperado de <http://www.fod.ac.cr/pdf/publicaciones/articulos/2006/951-956.pdf>.
- Puentes, Antonio & Roig, Rosabel & Sanhueza, Susan & Carrillo, Miguel (2013). Concepciones sobre las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y sus implicaciones educativas: Un estudio exploratorio con profesorado de la provincia de Ñuble, Chile. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 22, (8), pp. 75-88.
- Santos, Maribel & Osorio, José Antonio. (2008). Las TIC en la primera infancia. *Revista Iberoamericana de Educación*. ISSN, pp.1681-5653. 46/9 Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI).

# Mantenimiento del transformador de potencia empleando métodos predictivos y preventivos

**Juan Carlos Castro Galeano**

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia  
juan.castrogaleano@uptc.edu.co

**Fidel Alonso Romero Toledo**

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia  
fidel.romero@uptc.edu.co

**Camilo Andrés Quiñonez**

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

## Resumen

Este artículo presenta la importancia de transformador de potencia dentro del sistema eléctrico de potencia e indica las principales actividades de mantenimiento predictivo y preventivo, así como las pruebas de diagnóstico y sus criterios de aceptación de acuerdo a los estándares nacionales e internacionales vigentes, esto con el fin de asegurar su correcto funcionamiento y garantizar una operación segura, evitando salidas indeseadas, incendios, derrames aceite que afectan la confiabilidad del servicio y generan pérdidas millomarias. Estas actividades también sirven para tratar de extender la vida útil de estos equipos.

**Palabras claves:** Criterios de aceptación, Mantenimiento, Pruebas de diagnóstico, Transformador.

## Abstract

This article presents the transformer importance in the electric power system, also indicates the maintenance, predictive and preventive activities, at the same time indicating its diagnostic tests and its accepting criteria according to current national and international standards, this is in order to assure its proper functioning and avoid catastrophic failures, also to try to extend the life of the equipment.

**Keywords:** Acceptance criteria, Diagnostic tests, Maintenance, Transformer.

## Introducción

Debido al gran número de transformadores instalados en el sistema eléctrico, muchas empresas se interesan en conocer su condición integral evaluando el estado de su aislamiento, bobinas y aceite dieléctrico, para definir en que momento se debe realizar algún tipo de mantenimiento y tratar así de extender su tiempo de vida útil, además de contar con la disponibilidad de los mismos y evitar fallas de los mismos.

En general, existen diferentes formas en las cuales los transformadores se deterioran y dependen en gran medida de las condiciones de operación a las que se exponen durante su explotación tales como sobrecargas, elevaciones de temperatura, sobreesfuerzos eléctricos y mecánicos asociados a la circulación de corrientes de falla, y sobretensiones provocadas por maniobras o descargas atmosféricas. Por todo lo anterior, es necesario realizar una evaluación integral de la condición del transformador, mediante la ejecución periódica tanto de pruebas eléctricas como de análisis físicoquímicos del aislamiento líquido para conocer el avance real de los procesos de deterioro al interior de estos equipos

### Importancia del mantenimiento en transformadores

Para los usuarios residenciales, comerciales e industriales, es indispensable disponer de un servicio continuo y confiable, una falla en un transformador de una subestación, podría sacar de servicio varios circuitos generando pérdidas millonarias y multas para las empresas del sector eléctrico por la indisponibilidad del servicio. En algunos casos, las fallas pueden ser catastróficas y conllevar a incendios, son difíciles de extinguir por las altas temperaturas y el comportamiento del aceite como combustible. El 13 de julio de 2017, en horas de la madrugada ocurrió una falla en un transformador de 230 kV de la subestación la Enea de la ciudad de Manizales, Colombia. Sobre las 3:20 a.m. los organismos de socorro atendieron la emergencia y lograron controlarla a las 11:40 a.m, requiriendo 40 máquinas de bomberos ya que había aproximadamente 22 mil litros de aceite en el transformador, lo que generó complicaciones. La figura 1 presenta el transformador fallado.



*Figura 1.*

Incendio transformador de potencia 230/115 kV el 13 de junio de 2017, [1]

### Actividades de mantenimiento predictivo

Con el transformador en servicio, se realizan de forma predictiva las siguientes actividades:

**Inspección visual:** Consiste en una inspección minuciosa para comprobar si el equipo no tiene defectos como fugas de aceite, desajuste de piezas, pintura dañada, corrosión o defectos en las estructuras de soporte, así como el estado de las campanas de los aisladores y el nivel de aceite en bujes capacitivos. También se verifica el adecuado funcionamiento del sistema de refrigeración (ventiladores y bombas) y el sistema de respiración (desecador de sílica gel). Adicionalmente se registran algunas lecturas como testigos de temperatura del termómetro de imagen térmica y aceite para verificar que el transformador no ha sufrido algún aumento significativo de temperatura.

**Inspección termográfica:** Permite detectar puntos calientes, conexiones flojas, corrientes circulantes a través de la cuba, defectos en el sistema de refrigeración (bombas girando en contraflujo, ventiladores girando al revés, etc.) y cortocircuitos en blindajes magnéticos colocados en las paredes de algunos transformadores. También es posible detectar el bajo nivel de aceite en bujes aislados en aceite cuando estos pierden su estanqueidad y su aceite fluye hacia la cuba.

**Análisis fisicoquímico del aceite:** El aceite dieléctrico cumple las funciones de aislar eléctricamente los devanados, disipar el calor y evitar corrosión de las partes metálicas. De forma general todos los aceites tienen las siguientes características:

- Rigidez dieléctrica alta para resistir esfuerzos eléctricos, y extinguir arcos y descargas en su interior.
- Viscosidad baja para circular y disipar calor.
- Resistencia al envejecimiento para asegurar una larga vida útil (20 años o más).

Las causas de la degradación del aceite se deben a las condiciones de servicio como operación a altas temperaturas, contacto con aire, agua, partes metálicas en hierro como las prensas del núcleo, tornillos y contacto con el cobre presente en terminales y conductores. Los principales síntomas de la degradación del aceite son el oscurecimiento, la generación de sustancias polares, la formación de ácidos, precipitación de lodos y deterioro de las propiedades dieléctricas.

Análisis fisicoquímico del aceite determinar el estado del aceite y es realizado al menos una vez al año. Estos análisis permiten evaluar algunas variables asociadas a la condición del aceite como contenido de humedad, grado de acidez, tensión superficial, concentración de compuestos furánicos (subproductos de la degradación del papel), rigidez dieléctrica y factor de potencia del aceite. La Tabla 1 presenta los criterios de aceptación básicos y la normatividad para los análisis fisicoquímicos en aceites dieléctricos.

**Tabla 1.**  
Normativa análisis fisicoquímicos

Prueba	Normas	Criterio de aceptación
Rigidez dieléctrica	Astmd 1816-04 Ntc 3218 - 1991 astm-d 877 - 00	> 40 kv
Factor de potencia	Astmd 924-99e1	< 0,05 nuevo < 0,08 usado
Tensión interfacial	Astmd 971-99 <sup>a</sup> , Astmd-2285-99	> 22
Número de neutralización (acidez)	Astmd 974-01	< 0,11
Contenido de humedad	Astmd 1533-00	< 25

**Análisis de gases disueltos (DGA):** Permite detectar si se han presentado arcos internos, mal contacto eléctrico, puntos calientes, descargas parciales y sobrecalentamientos de conductores, aceite y aislamientos que hayan ocasionado degradación térmica del aceite que rodea la zona de ocurrencia de la avería o defecto.

Estos gases deben analizarse en el tiempo ya que mayor edad del transformador, los gases se encuentran en mayor cantidad, siendo ésta su condición normal, pero si su aumento es considerable en un periodo de tiempo, indica una falla incipiente en el transformador, [2], [3] y [4].

La Tabla 2 presenta las normativas para el análisis de gases disueltos por cromatografía de gases y los valores aceptables para transformadores de potencia.

**Tabla 2.**

Criterio de aceptación cromatografía de gases

Gases		Criterio de aceptación, Concentración, [ppm]			
		BBC	DORN	CEGB	DOBLE
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	200	200	100	100
Metano	CH <sub>4</sub>	100	50	120	100
Monóxido de Carbono	CO	500	500	350	250
Etileno	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	150	80	30	100
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	100	35	65	60
Acetileno	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	15	5	35	5
Bióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	5000	6000	-	-

Los gases claves para ayudar a diagnosticar la condición del transformador son presentados en la tabla en la Tabla 3.

**Tabla 3.**

Gases claves cromatografía de gases

Gas Clave	Condición
Acetileno	Arqueo – falla
Hidrógeno	Efecto corona – Descargas eléctricas de baja energía
Etileno	Aceite sobrecalentado
Monóxido y dióxido de carbono	Celulosa sobrecalentada (aislamiento en papel)

Estos análisis se realizan en un laboratorio acreditado empleando la metodología de análisis de gases disueltos por cromatografía.

Actividades de mantenimiento preventivo

Con el transformador desenergizado, y desconectado del barraje y los circuitos, se realizan las siguientes pruebas de diagnóstico como actividades de mantenimiento preventivo [4], [5]:

- Relación de transformación
- Análisis de respuesta en frecuencia SFRA
- Medición del factor de potencia
- Factor de potencia de bujes capacitivos
- Corriente de excitación
- Reactancia de dispersión
- Resistencia óhmica de los devanados
- Resistencia de aislamiento

La ejecución de estas pruebas debe ser realizada bajo los lineamientos de los estándares nacionales e internacionales, garantizando la repetibilidad de las mismas y la obtención de resultados fiables y exactos.

Para diagnosticar una falla no es suficiente con la ejecución de una prueba, debe realizarse el mayor número de pruebas posibles, de esta forma se pueden correlacionar sus resultados, así como verificar su comportamiento histórico. Las fallas típicas detectadas por cada prueba y los criterios de aceptación de acuerdo a los estándares nacionales e internacionales se presentan en la tabla 4.

**Tabla 4.**

Pruebas a transformadores de potencia sumergidos en aceite, [5]-[12]

<b>Prueba</b>	<b>Criterio de aceptación</b>	<b>Identifica</b>
Relación de transformación	+/- 0,5 %	Espiras en corto, abiertas o malas conexiones del cambiador
Análisis de respuesta en frecuencia SFRA	Trazas de referencia y medidas deben ser iguales	Deformaciones mecánicas y geométricas en núcleo y bobinas
Termografía	Diferencias de temperatura	Puntos calientes, conexiones flojas
Medición del factor de potencia	< 1,0 en 115 kV < 0,5 en 230 kV	Contaminación, envejecimiento, humedad y degradación del aislamiento
Corriente de excitación	5 %	Corto entre espiras, y deformaciones en el núcleo
Reactancia de dispersión	5% Equivalente trifásico 2 % Equivalente monofásico	Deformaciones mecánicas y geométricas en núcleo y bobinas
Factor de potencia a los bujes	< 1,0	Contaminación, envejecimiento, humedad y degradación del aislamiento
Medición de la resistencia de los devanados	+/- 5%	Espiras en corto o parcialmente abiertas, contactos del cambiador de tomas
Medición de la resistencia de aislamiento	Valores en GΩ, IP > 1,5	Contaminación, envejecimiento, humedad y degradación del aislamiento

**Conclusiones**

En este artículo se han identificado y descrito las principales técnicas usadas por el personal de mantenimiento para el diagnóstico de condición de transformadores. Dicho diagnóstico requiere tener en cuenta una gran cantidad de variables y es complejo en la medida en que muchas de dichas variables se evalúan no solamente en forma puntual sino también como una tendencia en el tiempo.

Las pruebas de rutina en los transformadores, son una herramienta fundamental para la determinación de fallas incipientes presentadas en los transformadores de potencia, permiten la acertada intervención en el mismo para evitar daños mayores o salidas inesperadas, generando mala confiabilidad del servicio afectando los índices de calidad del servicio y produciendo pérdidas económicas para las empresas del sector.

La dinámica de los diferentes mecanismos de falla de probable ocurrencia al interior de los transformadores debe ser tenida en cuenta en la definición de la periodicidad de ejecución de estas pruebas y análisis. Algunas técnicas como MCC (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) puede ayudar a definir de forma objetiva esta periodicidad teniendo en cuenta aspectos particulares de la población de equipos objeto de evaluación como carga, nivel de tensión, historial de fallas, etc.

Por último, cabe anotar que el manejo del riesgo de falla de una población de transformadores debe contemplar, además de una adecuada estrategia de mantenimiento, la posibilidad de contar con unidades de repuesto que permitan reducir el impacto ante la ocurrencia de fallas en estos equipos.



## Agradecimientos

Los autores agradecen las contribuciones de Industrias Explorer Ingeniería S.A.S., de la compañía Doble Engineering Company, Megger y de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia por facilitar el apoyo y la experiencia durante el desarrollo de este trabajo.

## Referencias

ANSI/IEEE C57.12.90-1999. *Test code for liquid-immersed distribution, power and regulating transformers and guide for short-circuit testing of distribution and power transformer.*

ANSI/IEEE C57.12.91-1999. *IEEE Standard test code for dry-type distribution and power transformers*

ANSI/IEEE C57.12.00-2000. *General requirements for liquid-immersed distribution, power and regulating transformers*

IEEE Std C57.104-1991. *IEEE Guide for the interpretation of gases generated in oil-immersed transformers*

IEEE Std C57.106. *Guide for acceptance and maintenance of insulating oil in equipment*

IEEE Std C57.19.100-1995. *IEEE Guide for application of power apparatus bushings.*

IEEE Std 62-1995. *IEEE Guide for diagnostic field testing of electric power apparatus. Part 1: Oil filled power transformers, regulators, and reactors*

*Noticias de Manizales y Caldas diario.* Recuperado de: <http://www.lapatria.com/sucesos/bomberos-controlaron-incendio-en-subestacion-electrica-en-la-entre-gallinazo-y-lusitania>

NTC 375 - *Transformadores. Medida de la resistencia de los devanados. 2/24/1970*

NTC 471 - *Transformadores. Relación de transformación. Verificación de la polaridad y relación de fase.*

PC 57.149. *Guide for the application and interpretation of frequency response analysis for oil immersed transformer*

*Testing of power transformer. routine, type test and special test.* (2003). First edition, Zürich, Schweiz: Pro Print for Abb.



**CAPÍTULO 6**  
**MEDICINA Y SALUD**

# Diseño y construcción de una columna de destilación binaria, para ser implementada en el laboratorio virtual de la Universidad Nacional de Loja

**José Leonardo Benavides**  
Universidad Nacional de Loja  
jose.benavides@unl.edu.ec

**Hernán Fabricio Alvarado**  
Universidad Nacional de Loja  
fabricioalvarado2@yahoo.es

**Jimmy Stalin Paladines**  
Universidad Nacional de Loja  
jspaladines@unl.edu.ec

## Resumen

El presente trabajo consistió en la evaluación de la eficiencia de las columnas de destilación por platos, que utiliza las mezclas etanol-agua e isopropanol-agua, con la finalidad de encontrar el número de componentes del sistema de destilación; para llevar a cabo ambos experimentos. Para esto se utiliza la evaluación por el método gráfico de McCabe Thiele, considerado como el más ilustrativo para el análisis de la destilación fraccionada binaria, tomando como base la fracción molar de uno de los dos componentes del destilado, permitiendo así determinar el número de platos o etapas teóricas necesarias para la separación de las mezclas propuestas. Finalmente, este diseño pretende implementarse en la plataforma de educación virtual denominada Macro Laboratorio de Formación Conjunta, que está funcionando en la Universidad Nacional de Loja, convirtiéndose en un laboratorio virtual en el campo del control automático.

**Palabras claves:** Control automático, Columnas de destilación, Educación virtual, Plataforma moodle

## Abstract

The present work consisted in the evaluation of the efficiency of the distillation columns by plates, using the ethanol-water and isopropanol-water mixtures, to find the number of components; to carry out both experiments. For this, the evaluation by the graphical method of McCabe Thiele, considered as the most illustrative for the analysis of binary fractional distillation, based on the molar fraction of one of the two components of the distillate. Allowing to determine the number of plates Or tentative steps necessary for the separation of the proposed mixtures. Finally, this design aims to be implemented in the virtual education platform called Macro Joint Training Laboratory, which is operating at the National University of Loja, becoming a virtual laboratory in the field of automatic control

**Keywords:** Automatic control, Columns de destillation, Virtual education, Moodle platform.

## Introducción

### Introducción al problema

En su visión la Universidad Nacional de Loja, a través de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables busca capacitar a sus estudiantes dentro de una infraestructura adecuada, dotada de equipos que garanticen el desarrollo de actividades de investigación, docencia y extensión en el área

de las ciencias y la tecnología; que le permita formar profesionales con una alta calidad científica, dentro de las cuales se encuentra el campo de las principales operaciones unitarias, como es el caso de la destilación, absorción, evaporación etc., donde se analizan los fenómenos de transferencia de masa y energía que fundamentan este proceso.

En este contexto, se está desarrollando el Laboratorio de Formación Conjunta donde se plantea la consecución de la infraestructura física y la dotación de equipos, que permitan emprender en el ámbito científico, con el objeto de formar profesionales que puedan desarrollarse en diferentes sectores de la industria, la investigación y la docencia.

Sin estas experiencias prácticas, no podrían consolidarse los fundamentos teóricos y el estudiante no tendría la pericia suficiente para el manejo adecuado de los equipos involucrados en estos procesos en su vida laboral.

Esto que se ha planteado, justifica el hecho de llevar a cabo estas prácticas en las instalaciones del macro laboratorio de formación conjunta, que es un laboratorio virtual que permite realizar las practicas de destilación en forma remota, desde un ordenador cualquiera, que acceda a través de la plataforma Moodle, directamente en las instalaciones donde se ubicara la torre de destilación de platos que será automatizada con el autómat programable SIEMES 1500, cumpliendo con la mejora de las actividades prácticas que es uno de los requisitos académicos, exigidos para la acreditación de la carrera por parte del CEAACES, además deja abierta la posibilidad de realización, a futuro otros trabajos de investigación para mejorar y complementar con nuevos prototipos, el laboratorio virtual y así poder desarrollar tesis de pre y postgrado, trabajos de maestría, etc.

El objetivo general de este trabajo es:

Evaluar la eficiencia de las columnas de destilación de platos, previa instalación y puesta en marcha, empleando para ello mezclas de agua-etanol y/o agua-isopropanol, con la finalidad de que se realicen ambas experiencias en el Macro Laboratorio de Formación Conjunta.

Los objetivos específicos de este tema son:

1. Diseñar los platos y el calderín de la torre de rectificación de acuerdo a las características deseadas.
2. Instalar las torres incorporando cada uno de los accesorios adquiridos.
3. Determinar las diferentes condiciones de operación de las torres para su puesta en marcha utilizando las mezclas binarias agua-etanol y agua-isopropanol.
4. Generar un manual de operación de las torres que contribuya a la realización de las experiencias prácticas.

A continuación, se presentan las bases teóricas que fundamentan esta investigación.

### **Equilibrio Líquido-Vapor**

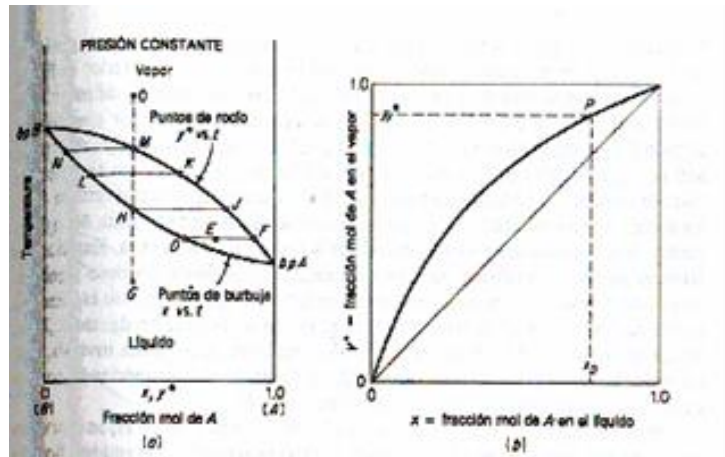
Los métodos de destilación se aplicarán con éxito si se comprenden los equilibrios que existen entre la fase vapor y líquido de las mezclas encontradas. (Treybal, 2003).

### **Equilibrios a presión constante**

Considérese primero una sección típica a presión constante, en la Figura 1 se puede apreciar esto, la intersección de la superficie doble con el plano de presión constante produce una curva sin máximos o mínimos que se extiende desde el punto de ebullición de B puro hasta el de Apuro a la presión considerada. La curva superior proporciona la relación entre la temperatura y la composición del vapor, la curva inferior, la relación entre la temperatura y la composición del líquido. Las mezclas de líquido y vapor en el equilibrio están

a la misma temperatura y presión, de forma que las líneas de unión, como la línea DF unen las mezclas en el equilibrio en D y F. Hay un número infinito de dichas líneas de unión para este diagrama.

Una mezcla en la curva inferior, como el punto D, es un líquido saturado; una mezcla en la curva superior, como en F, es un vapor saturado. Una mezcla en E es una mezcla de dos fases, que consta de una fase líquida de composición en D y una fase vapor de composición en F, en proporción tal que la composición promedio de toda la mezcla se representa mediante E.



**Figura 1.**

Equilibrio a presión constante líquido-vapor.

**Fuente:** Autores

Las cantidades relativas de las dos fases en el equilibrio están relacionadas con los segmentos de la línea de unión, como se muestra en la ecuación (1).

$$\frac{\text{moles} \cdot \text{de} \cdot D}{\text{moles} \cdot \text{de} \cdot F} = \frac{\text{línea} \cdot EF}{\text{línea} \cdot ED} \quad (1)$$

Por otra parte, si una solución como la que se encuentra en H, se hierve en un recipiente abierto y sus vapores escapan hacia la atmósfera, el residuo líquido se volverá cada vez más pobre, puesto que el vapor es más rico en la sustancia más volátil. La temperatura y la composición del líquido saturado residual se mueven a lo largo de la curva inferior hacia N, al continuar la destilación (Treybal, 2003).

### **Punto de Burbuja**

El punto de burbuja es la temperatura a la cual la primera burbuja de vapor aparece en el líquido mientras que la presión se mantiene constante.

### **Punto de Rocío**

La temperatura o de punto de rocío, es la temperatura a la cual el vapor comienza a condensarse por un proceso de enfriamiento, mientras que la presión y la razón de humedad se mantienen constantes (proceso isobárico).

## **Destilación**

Es un proceso en el cual una mezcla líquido-vapor de dos o más componentes son separadas mediante la aplicación de calor. La destilación se basa en que el vapor que ebulle de la mezcla es rico en el componente que tiene menor punto de ebullición. Luego el vapor es enfriado y condensado. Este líquido proveniente de la condensación contiene en mayor cantidad el componente más volátil, y al mismo tiempo la mezcla original contiene en mayor cantidad el componente menos volátil. Una torre de destilación posee varias etapas. La separación de componentes de una mezcla líquida vía destilación depende de las diferencias en los puntos de ebullición de los componentes individuales. También, dependiendo de las concentraciones de los componentes presentes, la mezcla líquida tendrá diferentes puntos de burbuja. Use the "Insert Citation" button to add citations to this document.

En una destilación con rectificación típica en operación por carga, el líquido que se va a procesar se carga en un tanque rehedidor, sobre el cual está colocada una columna de platos equipada con un condensador. Una vez que el líquido inicial ha sido alimentado, no se agrega más carga durante el proceso. El líquido se lleva a ebullición en el recipiente inferior y los vapores ascienden a través de la columna. (Perry, 1.997).

## **Parámetros a Considerar en el Diseño de Equipos de Transferencia de Masa**

Previo a realizar el diseño de un equipo, deben estar bien definidas la presión de trabajo, la temperatura, velocidades de flujo y composición de la alimentación, de manera que el problema de diseño consista únicamente en construir un dispositivo que lleve a cabo la operación que se desee y sea económico, seguro y fácil de operar.

## **Plataforma virtual Macrolaboratorio de Formación Conjunta**

Seguidamente se aprovecha la herramienta y se diseñan los ambientes educativos sobre la plataforma virtual Moodle, aunque estas no se muestran en este trabajo se puede acceder a las mismas a través de la dirección url <https://mfc.unl.edu.ec>.

La experiencia de formación humana centrada en el desarrollo, coadyuva para que el sujeto sea competente para interpretar una necesidad o desafío de su contexto inmediato y a la vez sea capaz también de aplicar y transferir lo aprendido, para dar solución a estas mismas necesidades o desafíos. Sin embargo, la adquisición de ésta o varias capacidades, requieren de una interactividad y mediación constante entre enseñanza y aprendizaje (Brito, 2016).

## **Desarrollo de prácticas de control automático**

El Control Automático es un área transversal para las disciplinas de ingeniería, ya que siempre se necesita tanto diseñar o hacer uso de sistemas que realicen -de forma autónoma- tareas repetitivas y con la mayor precisión posible, desarrollando estos tipos de sistemas. En consecuencia, los Laboratorios de Automatización se utilizan no sólo en carreras en las que el control es un área relevante de su especialidad (Ingenierías Mecatrónica, Mecánica, Electrónica, Química, ...) sino en otras que lo requieren como área de conocimiento para su formación profesional saber cómo puede ser aplicado (Ingeniería Industrial, en Alimentos, Informática...). Dado la alta demanda de estudiantes que acceden a estos laboratorios y el alto costo de los equipamientos que allí se encuentran, es casi imposible que puedan estar dotados de la cantidad de equipos suficiente como para ser utilizados a la vez -de forma eficiente- por todos los estudiantes que requieren usar el laboratorio, y los equipos disponibles normalmente sólo los pueden utilizar un conjunto reducido de estudiantes. Por tanto, para cursos numerosos los cuales tienen que realizar una misma actividad, se tiene que

trabajar con grupos pequeños y las mismas experiencias deben repetirse varias veces en la semana para que todos los estudiantes puedan realizarlas. Esto hace que prácticamente resulte imposible que haya horas de la jornada académica donde no se estén realizando experiencias de laboratorio. Esta situación imposibilita al resto de los estudiantes que puedan realizar prácticas por su cuenta, en sus tiempos de aprendizaje autónomo, para reforzar los aprendizajes adquiridos.

### **Importancia del problema**

La destilación es el método de separación más común utilizado a nivel industrial. Los procesos de destilación poseen requerimientos térmicos enormes, por lo tanto, surge la necesidad de implementar sistemas de control dirigidos a la mejora del proceso teniendo como principal objetivo el ahorro energético. Una de las formas para ahorrar energía es utilizar un sistema de control avanzado que incorpore algoritmos de optimización con el fin de reducir el costo de operación de la columna (Agachi et al., 2006).

El diseño de un sistema de control para una columna de destilación, es bastante complejo debido a que las composiciones son difíciles de controlar por su comportamiento no lineal y a la fuerte interacción existente entre ellas. Por lo tanto, se hace necesario diseñar un sistema de control estricto que controle las composiciones de los productos (composición de destilado,  $x_D$  y composición de fondos,  $X_b$ ) para garantizar el menor consumo de energía posible, así como una elevada y uniforme calidad de producto.

Para el desarrollo del algoritmo de control predictivo basado en el modelo no lineal de una columna de destilación binaria, se requiere un modelo de proceso a controlar, una referencia a seguir y una función de costo cuya minimización proporciona las señales óptimas de control.

Estos algoritmos se aplicarían en el diseño de nuestra columna de destilación la cual será capaz de destilar todo tipo de mezclas, se la procederá a construir en forma física, capaz de realizar prácticas en forma real, para que los estudiantes puedan comprender este proceso, luego de lo cual se pondrá a disposición este proceso a través de la plataforma del Macro laboratorio para que las personas que estén interesadas en este proceso, puedan acceder de cualquier parte a realizar la práctica de destilación que ejecuta esta columna de destilación.

Entre los parámetros de diseño más importantes cabe destacar: la capacidad del equipo, la caída de presión, costos, facilidad de operación y eficacia. (Marcilla, 2005).

*Capacidad.* Los datos de equilibrio de un sistema establecen el número de etapas de contacto necesarias para producir una determinada separación. Aunque este número de etapas es independiente del flujo de la alimentación, las dimensiones físicas del equipo (particularmente el diámetro) aumentarán proporcionalmente con el flujo que circule a su través, siendo tales dimensiones función de la hidrodinámica y del tiempo que se precisa en cada etapa. Es importante que una columna esté diseñada para operar con un intervalo de composiciones y flujos tan alto como sea posible. Los parámetros estructurales, tales como la relación (altura/diámetro), deciden con frecuencia la posibilidad de realización práctica. (Marcilla, 2005).

*Caída de presión.* Este parámetro es particularmente importante cuando es preciso operar en condiciones de alto vacío (posibilidad de descomposiciones térmicas o de reacciones químicas no deseadas).

*Costos.* La evaluación de los costos de columnas para evaluaciones preliminares de procesos requiere que se tome en consideración no sólo el tipo básico de elementos internos, sino también sus efectos sobre el costo

del sistema en general. Por ejemplo, para un sistema de destilación, el sistema general puede incluir, el recipiente (columna) estructuras accesorias, soportes y cimentaciones, dispositivos auxiliares como rehervidores, condensadores, precalentadores de la alimentación e instrumentos de control y tuberías de conexión.

La elección de los componentes internos influye en todos esos costos, pero hay otros factores que lo afectan también. Una optimización completa del sistema requiere un modelo completo de simulación de procesos, que puede cubrir todas las variables pertinentes que influyen en la economía.

También son de gran importancia los servicios (electricidad, vapor y agua de refrigeración) (Perry, 1997).  
Facilidad de operación. En todo proceso hay un número importante de potenciales problemas de operación.

### **Columna de destilación binaria por platos**

La columna o torre de platos es un equipo necesario para la rectificación por lotes, ya que permite el contacto íntimo entre las dos fases en la superficie de los platos que poseen perforaciones, a fin de que se lleve a cabo la difusión interfacial de los componentes.

Independientemente del tipo de alimentación (continua o por carga), el líquido cae en la superficie del plato y fluye descendientemente por efecto de la gravedad; al mismo tiempo, el vapor asciende a lo largo del equipo y se difunde en el seno del líquido al pasar a través de las perforaciones de los platos, con la consecuente formación de burbujeo; al abandonar las burbujas, el vapor pasa al plato superior.

Finalmente, luego que las fases se ponen en contacto etapa a etapa, los productos más volátiles se obtienen por el tope en forma de vapor, mientras que los más pesados descienden por la torre en forma de líquido; se habla así de productos de tope y productos de fondo. El producto se hace pasar a través de un condensador que puede ser total o parcial; una fracción del producto condensado se hace recircular a la columna, alimentándose a un plato por encima del plato de alimentación, a fin de mantener el equilibrio líquido vapor en la torre.

De forma similar, el líquido de fondo se introduce en un evaporador y una fracción del vapor producido se hace recircular a la torre con el mismo fin de mantener las condiciones de equilibrio.

Si se necesita realizar el análisis de una separación de líquidos de una mezcla de dos o más componentes en una columna de destilación por carga, se debe tener en cuenta que el análisis se debe separar en dos períodos: periodo de preparación (reflujo total) y periodo de producción (reflujo dado).

La etapa de preparación o acondicionamiento comienza una vez que la carga se alimenta al sistema. Para este período se especifica: el número de etapas, la carga del rehervido, la presión en la columna y la condición de reflujo total ( $D = 0$ ,  $B = 0$ ). Esta fase del proceso ocurre hasta que se logre el estado estacionario, lo cual toma cierta cantidad de tiempo, después comienza el período de producción donde ocurre la salida de destilado según la relación de reflujo inicialmente colocada.

Debido a que el destilado que se va a separar es más rico en los componentes más volátiles que el residuo en el rehervidor, este residuo empobrecerá en sus componentes más volátiles a medida que la destilación progresa. Como el número de etapas de equilibrio en la columna es constante, la concentración del



componente más volátil en el destilado disminuirá conforme la concentración disminuye en el rehervidor si la cantidad de reflujo se mantiene constante. (Treybal, 1984).

### **Metodología**

En la presente investigación se ha desarrollado también una metodología de modelado de columnas, de forma tal que sea sencillo obtener la mejor columna de destilación para una mezcla dada en un punto de operación determinado, partiendo del conocimiento de muy pocos datos (datos en general relativos a la mezcla y a sus componentes) y además datos fáciles de conseguir en la literatura.

Se muestra a continuación uno de los métodos más usados para calcular las curvas de los estados y para problemas de diseño.

#### **Método de diseño de McCABE Thiele**

El método de McCabe-Thiele es uno gráfico, y usa los VLE (equilibrio vapor – líquido) para determinar el número teórico de fases exigido para efectuar la separación de una mezcla binaria.

Supone el desbordamiento molar constante y las implicaciones de este:

- El calor molar de vaporización de los componentes es aproximadamente el mismo.
- Los efectos caloríficos (los calores de solución, pérdidas de calor a y de la columna, etc.) son despreciables.
- Por cada mol de vapor condensado, se obtiene una mol de líquido vaporizado, lo que conlleva a la no existencia de pérdidas en la columna de destilación.

El procedimiento del diseño es simple. Dado los VLE (equilibrio vapor – líquido) hacer el diagrama de la mezcla binaria, las líneas de operación son trazadas primero.

Las líneas de operación definen las relaciones de balance de masa entre las fases de líquido y el vapor en la columna.

Hay una línea de operación para la sección del fondo (agotamiento) de la columna, y una para la sección superior (rectificación o enriqueciendo) de la columna.

El uso de la presunción del desbordamiento molar constante también asegura que las líneas de operación sean rectas.

#### **Línea de operación para la sección de rectificación**

La línea que opera para la sección de la rectificación se construye de la siguiente manera. Primero la composición de producto de punta deseado se localiza en el diagrama de VLE (equilibrio vapor – líquido), y una línea vertical producida por el intercepto que corte la línea diagonal que divide el VLE (equilibrio vapor – líquido) por la mitad. Una línea con la pendiente  $R/(R+1)$  es entonces arrastrado de esta intersección.

La infraestructura de tecnología de la información del Macro Laboratorio de control automático para un entorno académico, en su fase inicial se implementó de acuerdo a las políticas de la Unidad de Telecomunicaciones e Información (UTI) y documentos de mejores prácticas; es así que se definen 3 componentes.

## Componente de Hardware

La Universidad Nacional de Loja, cuenta con la Unidad de Telecomunicaciones e Información la cual se compone de dos Subdirecciones, una de ellas es la Subdirección de Redes y Equipos Informáticos (SREI), desde donde se llevan a cabo métodos y técnicas para mantener la infraestructura de la red 100% activa y funcional para la transmisión de datos, voz y video, así mismo se dan lineamientos para mejorar la conectividad entre los diferentes dispositivos de networking y equipos finales; con la finalidad de garantizar el acceso óptimo y oportuno acceso a los servicios institucionales, Internet comercial y red avanzada académica.

Además la SREI es responsable de la administración del servidor BLADE<sup>4</sup> que se encuentra en el Centro de Procesamiento de Datos (CDP), en donde la asignación de recursos de hardware (CPU, memoria RAM y almacenamiento) se realiza a través de virtualización. A continuación, se describe en la Tabla 1 un resumen de los requerimientos de hardware de los equipos existentes que actualmente cuenta el Macro Laboratorio.

**Tabla 1.**

Características técnicas del servidor ubicado en el CDP.

Descripción	Plataforma Base	CPU	Memoria RAM	Disco Duro
Servidor privado virtual (VPS <sup>5</sup> )	Blade	1 Intel(R) Xeon(R) 2.53GHz	1GB	30GB

**Fuente:** Autores

Si de acuerdo al monitoreo y/o supervisión se llegará a determinar alta carga de procesamiento y almacenamiento, se procede a incrementar los recursos necesarios.

El equipo de videoconferencia instalado y en funcionamiento permite la transmisión de audio, video y contenido multimedia desde el Macro Laboratorio hacia la plataforma virtual de enseñanza – aprendizaje, esto se puede apreciar en la Tabla 2.

**Tabla 2.**

Equipos que conforman el sistema de videoconferencia ubicado en el Macro Laboratorio.

Nombre	Descripción
Equipo videoconferencia VSX 7000	Sistema de videoconferencia de vanguardia para redes IP
Subwoofer y alimentación VSX 7000	Crea un espacio de sonido de alta calidad y proporciona alimentación eléctrica al equipo de videoconferencia VSX 7000
Micrófono VTX 1000	Proporciona una cobertura de 360 grados para la entrada de audio del sistema VSX 7000
Visual Concert VSX	Permite mostrar material procedente de un equipo informático

**Fuente:** Autores

Con estos equipos se garantiza la calidad del audio, video y contenido multimedia desde el Macro Laboratorio hacia la plataforma virtual de enseñanza – aprendizaje.

<sup>4</sup> Servidor BLADE, es un tipo de computadora con un tamaño reducido y cuenta con altas prestaciones de hardware.

<sup>5</sup> VPS, Servidor virtual privado creado en el servidor BLADE

### Componente Software

El despliegue del software en el VPS consistió en adoptar el sistema operativo y herramientas de licenciamiento libre, en donde se consideró algunos criterios: licencia libre, interfaz, documentación, casos de éxito y conocimiento de los actores del presente trabajo. Se detalla a continuación en la Tabla 3 el sistema operativo y software seleccionado que cumplen los criterios expuestos.

**Tabla 3.**

Descripción	Detalle del Sistema Operativo y Software Seleccionado				Puerto Capa Aplicación
	Dominio Internet	Sistema Operativo	Software Plataforma	Base de Datos	
Plataforma virtual (Lab. remoto)	<a href="http://mfc.unl.edu.ec">mfc.unl.edu.ec</a>	Centos	Moodle	MariaDB	HTTPS, software Let's Encrypt

**Fuente:** Autores

La implementación del protocolo de capa de aplicación HTTPS<sup>6</sup> permite cifrar la comunicación desde el usuario final hacia la plataforma virtual, para este fin se utilizó el software Let's Encrypt.

### Componente de Conectividad

En el Macro Laboratorio se procedió a la instalación de 4 puntos de red categoría 6A para la conexión alámbrica y un punto de acceso inalámbrico, esto permite garantizar la conexión a los servicios institucionales (plataforma virtual, sistema de videoconferencia, telefonía IP, otros) e Internet. La conexión desde el rack de telecomunicaciones principal del Macro Laboratorio al CDP se utiliza el medio de transmisión fibra óptica.

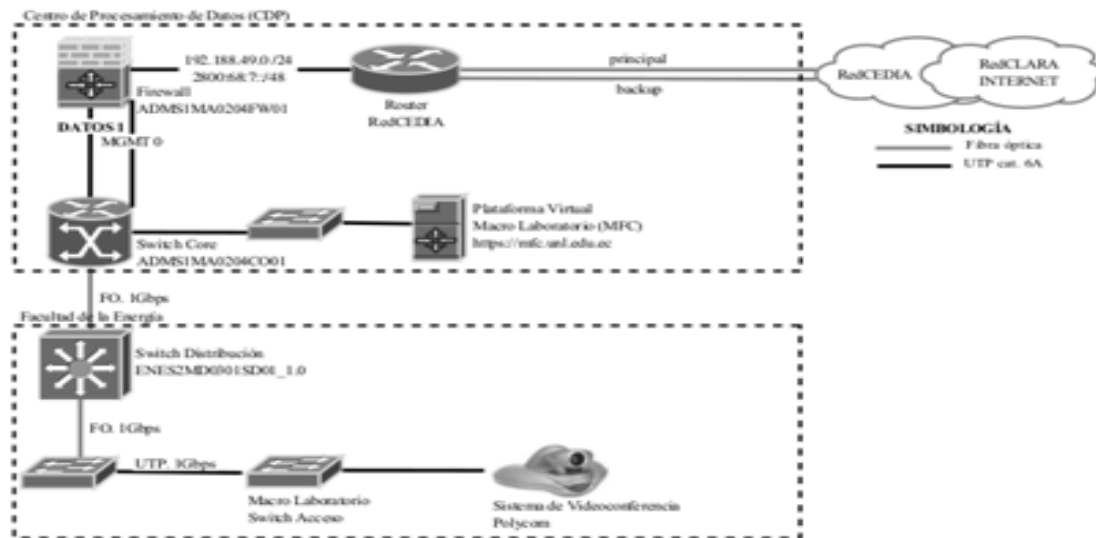
La UNL actualmente mantiene el contrato No. 676-UNCOP-UNL (2017)<sup>7</sup> para el Servicio de Internet y Red Avanzada, suscrito con la Fundación Consorcio Ecuatoriano para el Desarrollo de Internet Avanzado (RedCEDIA), la cual forma parte de la Cooperación Latino Americana de Redes Avanzadas<sup>8</sup> (RedCLARA), es así que los Centros de Educación Superior que forman parte del Macro Laboratorio de Formación Conjunta (MFC) cuentan con conectividad a la Red Avanzada, a excepción de las instituciones de Cuba; lo cual permite, que las comunicaciones entre estas instituciones tenga una capacidad de 1Gbps. A continuación, se indica en la Figura 2, el diagrama de conectividad.

<sup>6</sup> HTTPS sobre TLS, Internet Engineering Task Force (IETF), RFC 2818 <https://www.rfc-editor.org/info/rfc2818>

<sup>7</sup> Información del proceso en el Portal Nacional de Contratación Pública

<https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/informacionProcesoContratacion2.cpe?idSoliCompra=ybSlZvLAesNpH9je-twR8O0cG6YwacAH6FmiBqDtEeY>,

<sup>8</sup> Sobre RedClara <http://www.redclara.net/index.php/somos/sobre-redclara>



**Figura 2.**

Diagrama de conectividad del Macro Laboratorio UNL.

**Fuente:** Autores

A través de los dispositivos de red en las diferentes capas (core, distribución y acceso) se garantiza conectividad entre Macro Laboratorio, plataforma virtual y participantes de los laboratorios virtuales y remotos.

## Resultados

Del diseño realizado para la columna de destilación por el método McCabe Thiele, para la mezcla Etanol-Agua, se tiene que a medida que se hace menor la relación de reflujo se hace mayor el número de platos necesarios, y por ende, la relación L/D no puede descender por debajo de un valor que es función de la composición del destilado y de las condiciones de alimentación, denominada relación de reflujo.

No obstante, el método gráfico considera el número de platos reales, la composición de la alimentación, la composición en el residuo, la construcción de la línea de operación y la relación de reflujo, lo que origina una estimación de la eficiencia más próxima a la realidad por este método.

Respecto al diseño realizado para la mezcla Isopropanol-Agua, en este caso no hay que obviar los fundamentos teóricos de  $R_{mín}$  de que cuando se trabaja con esta condición el número de platos se hace infinito; pero que, contrariamente al sistema etanol-agua, la curva de equilibrio proporciona una mayor flexibilidad al momento de construirlos.

La relación de reflujo es un factor a considerar para la construcción de la línea de operación la cual define el corte con y en el diagrama x-y, y a la vez demuestra que a medida que se hace más grande este valor se va acercando a la diagonal lo que representa una mejor condición de trabajo, ya que garantiza que esta esté por debajo de la curva de equilibrio

Al utilizar el método de McCabe Thiele se pudo evaluar la eficiencia de una torre de platos, ya que se obtienen eficiencias mayores que con otros métodos, ya que toma en cuenta el número de platos reales, la composición de la alimentación, la composición en el residuo, la construcción de la línea de operación y la relación de reflujo.

Unificar el tipo de actividades pedagógicas que se realizarán en estos laboratorios remotos, de modo que las actividades tengan un periodo de duración definido y resultados de aprendizaje declarados, y que estos sean compartidos por todas las instituciones que participan en este emprendimiento.

Coordinar horarios de acceso para asegurar que los estudiantes de todas las instituciones puedan efectivamente realizar las tareas que se ejecutan en los laboratorios remotos, pues los laboratorios son reales, y se pueden usar uno a la vez por cada grupo (salvo que pueda haber más de una maqueta en la que puedan realizarse las experiencias).

Supervisar las actividades que desarrollan los estudiantes en estos laboratorios remotos. Aunque los equipos que están siendo utilizados en los laboratorios remotos tengan sus elementos de protección, esto no siempre es suficiente. Es por esto que es necesario que alguien esté revisando permanentemente que los sistemas se usen correctamente y que estén operativos y funcionando según especificaciones.

Calificar los procedimientos ejecutados por los estudiantes en los laboratorios remotos. Esto implica que debe existir un docente que revise los procedimientos ejecutados por los estudiantes y califique sus actividades.

Generar material de apoyo complementario a las actividades. El desarrollo de estas actividades en ambientes colaborativos como el propuesto permite el uso de herramientas como foros, wikis, etc., las que deben ser moderadas por uno o varios profesores responsables de las actividades con una mirada interinstitucional.

Integrar el saber, el saber hacer y el saber ser es uno de los objetivos primarios de la educación actual, y esto se puede lograr incluyendo competencias que permitan el desarrollo de los ejes de un proceso educativo integral, que respondan a las necesidades y realidades del entorno en que se desenvuelve el estudiante. Esto implica que las maquetas que se hagan deben estar pensadas para el desarrollo adecuado de las competencias declaradas.

Eliminar el enciclopedismo tradicional de las prácticas educativas al trabajar por competencias. La formación pone énfasis en los resultados del aprendizaje, en el desarrollo de destrezas y habilidades del saber, del saber ser y saber hacer, del vínculo entre la teoría y la práctica. Esto permite llevar a cabo tareas de diversa índole, de forma tal que los estudiantes sean capaces completar un proceso educativo y luego continuar aprendiendo de forma autónoma a lo largo de su vida.

## **Discusión**

El presente trabajo es una versión a escala de laboratorio con fines didácticos de una columna de destilación, tal como la que tienen la Politécnica Nacional, pero con menor número de platos.

Si los conflictos no están resueltos en la fase del diseño, entonces la columna no realizará bien la práctica.

Además, se debe destacar que su construcción esta desarrollándose en la actualidad como parte del proyecto: *Diseño y construcción de un prototipo de destilación binaria, por platos que permita aplicar algoritmos de control y optimizar así su funcionamiento*, aprobado por la Universidad Nacional de Loja.

La plataforma de educación es parte de una Macrolaboratorio de Formación a la que pertenecen varios países como Chile (Universidad de Talca, Bio-Bio, la Frontera), Colombia (SENA), Cuba (UCLV) y Brasil (IFPB) en etapa de acoplamiento al sistema.

### **Conclusiones**

Determinar el número de fases requerido para el grado deseado de separación y la posición de la bandeja del alimento son los primeros pasos para un diseño de columna de destilación total. Otras cosas que necesitan ser considerado son los espacios de la bandeja; el diámetro de la columna; las configuraciones interiores; el calentamiento y enfriamiento. Todos éstos pueden llevar a los parámetros del diseño contradictorios. Así, el diseño de columna de destilación es a menudo un procedimiento reiterativo.

La infraestructura de TI en el Macro Laboratorio de control automático de la UNL permitió la implementación de laboratorios virtuales y remotos en tiempo real a través de la plataforma virtual Moodle, con el fin de garantizar a los participantes (alumnos, docentes) afianzar su conocimiento tanto en la teoría como en la práctica.

El uso de herramientas de Software Libre en la implementación de la plataforma virtual Moodle del Macro Laboratorio, ha permitido un ahorro significativo en licenciamiento, como también la personalización y adaptación del Software a los requerimientos institucionales.

La plataforma desarrollada en la UNL, permite a los estudiantes poder intercambiar experiencias en tiempo real con los países que la conforman, en el campo del control automatico.

La plataforma como tal se la puede apreciar accediendo a la siguiente dirección web:[www.unl.edu.ec](http://www.unl.edu.ec), Luego digitar, [mfc.unl.edu.ec](http://mfc.unl.edu.ec), donde se pueden apreciar las prácticas desarrolladas.

Este proyecto apunta a mejorar significativamente los problemas de acceso a los laboratorios de automatización de un grupo de 6 instituciones, al poner a disposición de los estudiantes parte de sus equipos a los que podrán acceder en forma remota, durante las 24 horas del día, ampliando los horarios existentes de atención académica, al hacer un mejor uso de las horas que el estudiante dispone para su formación autónoma y permitir que se puedan conformar grupos de estudiantes de distintas instituciones que puedan trabajar en forma colaborativa.

Asimismo, las actividades que no requieran ser trabajadas colaborativamente, podrán ser programadas por cada institución en distintos periodos de tiempo, haciendo un uso más eficiente del equipamiento a lo largo del año. Por otro lado, la disponibilidad remota de estos equipos posibilita que sea utilizado con fines de capacitación a la industria, estrechando las brechas que existen entre el capo de la educación y el campo laboral.

### **Agradecimiento**

A la Universidad Nacional de Loja (UNL) y al Instituto de Cibernética Matemáticas y Física (ICIMAF) en Cuba, por las facilidades prestadas para el desarrollo de este trabajo.

## Referencias

- Agachi, S., Zoltan & Vacile M. (2006). *Model based control: Case studies in process engineering K* DOI: 10.1002/9783527609475.
- Brito, J. (2016). *Aprendizaje y desarrollo*. Universidad San Francisco de Quito. Quito, Ecuador.
- Cedeño, M., Valencia, R., & Intriago, J. (2002). *Construcción y puesta en marcha de una torre de destilación de platos perforados para el laboratorio de operaciones unitarias*. (Tesis) Diseño
- Gomis, M. (2005). *Introducción a las operaciones de separación. Cálculos por etapas de equilibrio*. Textos Docentes. p.p 45-46. Recuperado de: <http://ingscientif.yolasite.com/resources/introducción%20de%20operaciones%20de%20separación%20calculo%20por%20etapas%20de%20equilibrio.pdf>
- Marcilla, R., Blazquez, A. & Mecerreyes, D. (2005). *Synthesis of novel polycations using the chemistry of ionic liquids*. DOI: 10.1002/macp.200400411
- Perry, Robert H. (1997). *Manual del ingeniero químico*. Tomo II. Sexta Edición. México, México: Editorial McGraw Hill.
- Treybal, R. (1984). *Operaciones de transferencia de masa*. Segunda edición, México, México: Editorial McGraw-Hill.
- Treybal, R. (2003). *Operaciones de transferencia de masa*. Segunda edición. México, México: Editorial McGraw-Hill. pp. 379-385.

# Fototoxicidad. Determinación de riesgos a la exposición crónica de la luz que provienen de las soldaduras por arco y soplete autógeno en soldadores de la provincia El Oro-Ecuador

**Fredis Franco Pesantez**

Universidad Técnica de Machala  
fredis120176@gmail.com

**Teresa María Alvarado Espinoza**

Seguro Social Campesino-IESS  
tere231075@gmial.com

**Jessica Tatiana Malla Peña**

Universidad Técnica de Machala  
jmalla4@utmachala.edu.ec

## Resumen

La fototoxicidad puede presentarse cuando la retina absorbe millares de fotones unidos con oxígeno provenientes del espectro azul que producidos al soldar, lo cual es peligroso provocando daños irreversibles en el ojo del trabajador a largo plazo. El objetivo es determinar los factores de riesgos a los que está expuesto el soldador por la exposición crónica a la luz emitida en la soldadura por arco y autógeno con respecto a su visión. El método científico fue descriptivo y observacional con un universo de 240 trabajadores vinculados a esta actividad. La muestra fue con criterio estadístico que representa el 90% de la población en la Provincia que ejerce esta actividad. Concluyendo un 55,25% de los trabajadores encuestados cumplen un patrón de síntomas causados por la exposición de la luz, sin embargo un 23,6% no presenta más de dos síntomas y un 11,6% no presentan ningún síntoma debido a que realiza esporádicamente esta actividad y a la correcta utilización de la protección ocular. Se efectuó la comparación de acercamiento entre la correlación de Pearson con soldaduras por arco 0,20 y soplete autógeno 0,17. La investigación es confiable ya que se determinó un uso inadecuado de las medidas de seguridad y protección.

**Palabras claves:** Fototoxicidad retiniana, Exposición crónica, Factor de riesgo, Soldadura, Industrias.

## Abstract

Phototoxicity can occur when the retina absorbs the thousands of photons with oxygen from the blue spectrum produced by the soldier, which is dangerous, causing irreversible damage to the worker's eye over the long term. The objective is to determine the risk factors to which the soldier is exposed by chronic exposure to light emitted in arc welding and autogenous with respect to his vision. The scientific method was descriptive and observational with a universe of 240 workers linked to this activity. The sample with the statistical criterion that represents 90% of the population in the Province that exercises this activity. Concluding that 55.25% of the workers surveyed had a pattern of symptoms caused by light exposure, however, 23.6% had no more than two symptoms and 11.6% had sporadic and correct activity use of eye protection. The comparison between Pearson's correlation with arc weld 0.20 and autogenous welding was performed. The investigation is reliable and an inadequate use of safety and security measures has been determined.

**Keywords:** Retinal phototoxicity, Chronic exposure, Risk factor, Welding, Industries.



## **Introducción**

### **Aspectos Generales**

La soldadura en general emite un amplio espectro de radiaciones que oscilan entre los 200 nm - 1400 nm. Estas radiaciones incluyen rayos ultravioletas (UV) (200-400nm). La luz visible (400-700nm) y los rayos infrarrojos (700-1400nm). La radiación ultravioleta y lejos infra-rojo (IR) son absorbidos por la córnea y la lente mientras que la luz visible y el infrarrojo cercano penetran en la retina (Fichet, 1993; Voke, 1999). El entorno físico es capaz de modificar la cantidad de luz que recibe el ojo, por ejemplo, cada 1000 metros de altitud el ojo recibe 10 % más de luminancia, por lo tanto cada día, la retina absorbe millones de millones de fotones, y podría aumentar este número con nuestra exposición creciente a la luz. Este fenómeno se ha visto agravado por el envejecimiento acelerado de la población mundial, ya que la vejez del ojo lo hace más sensible a la luz y debilita sus defensas. (Gos, R 2014).

Aunque la luz es necesaria y beneficiosa para numerosas funciones visuales y no visuales, se sospecha que es un factor de riesgo en las enfermedades oculares graves. Sin embargo, el impacto de una misma exposición a la luz varía según los individuos, es decir, cualquier rayo óptico es potencialmente nocivo para los ojos si es recibido y absorbido por los tejidos oculares en cantidad suficiente para causar reacciones fotomecánicas y foto térmicas. Una exposición breve a una luz intensa puede provocar rápidamente lesiones al ojo. Así mismo ocurre cuando hay una manifestación moderada a la luz durante un periodo prolongado puede conllevar modificaciones bioquímicas progresivas que desemboquen en la muerte de las células. (Yang X, 2014)

En la actualidad existen locales informales que no cumplen con las normas de seguridad en el correcto manejo de la soldadura por arco y por soplete autógena poniendo en riesgo la integridad física del sujeto, se realizó encuestas a 240 individuos que laboran en estas dos actividades orientados al sexo masculino en edades comprendidas de 21 hasta 55 años. El propósito de esta investigación fue determinar a los trabajadores que laboran en tipo de actividad, si aplican los medios y medidas adecuadas en el manejo de las gafas y cascos de protección con la finalidad de evitar la luz directa de hacia los ojos, para impedir a futuro complicaciones a la retina del individuo.

El objetivo de este estudio es determinar los factores de riesgos que están propensos y expuestos el soldador a la exposición crónica de la luz proveniente de soldadura por arco y soplete autógeno con su visión. Se encuestó a los trabajadores de los locales que tienen esta actividad de soldadura en los cantones de la Provincia El Oro. Los resultados encontrados con respecto, al uso correcto en las medidas de protección son medianos e incluso la edad del individuo va a aumentar el daño a largo plazo en la retina.

Esta exposición sin protección de la luz a los ojos puede causar trastornos oculares agudas y crónicas, siendo necesario la prevención y corrección a tiempo por medio de un adecuado manejo en medidas de seguridad y seguimiento en evaluación, pronóstico y tratamiento siendo necesario usar los cascos y gafas protectoras hacia los ojos, esto permite actuar sobre los posibles daños antes mencionados y así mejorar la condición de vida (Ophthalmol J 2014).

### **Importancia del problema**

La importancia de la fototoxicidad ocular como autónomo silenciador de la ceguera y pérdida de visión a largo plazo, se trata de identificar posibles riesgos que afecten a los trabajadores de talleres eléctricos y mecánicos. De acuerdo a ciertos estudios se puede concluir que ciertos jóvenes y adultos tienen la cultura y costumbre e incumplir las normas básicas de seguridad como el uso correcto de gafas y cascos de protección.

La mayoría de los trabajadores pueden asimilar el efecto tóxico de la luz, pero hay ciertas variables internas y externas que deben tomarse en cuenta; la emisión de energía lumínica que puede ser lenta o rápida (vatios o watts), el confinamiento espacial de la energía radiante o exposición (julios/cm<sup>2</sup>) y el confinamiento espacial del poder o irradiación (watts/cm<sup>2</sup>) son medidas de poder en relación a una superficie, éstas son altas cuando el poder y la energía óptica están concentradas en un área pequeña (Kweon EY 2009).

Por medio de esta investigación se plantea que existe varios problemas, siendo relevante la pérdida de visión a largo plazo, para esto se debe aplicar las medidas adecuadas de seguridad en los trabajadores que están inmersos a estos dos tipos de soldadura de gran importancia en el sector industrial, siendo necesario plantear y realizar campañas de información teórica-práctica enfocados a la salud e integridad personal y de grupo con la finalidad de evitar complicaciones a nivel familiar y en su entorno social.

El propósito de la investigación fue determinar los posibles riesgos que se presentan en los soldadores al trabajar con soldadura por arco y con soplete autógena, esto nos determina tener un diagnóstico general sobre la fototoxicidad retiniana en los individuos. Los resultados obtenidos en la presente investigación a baja escala se identificó el uso incorrecto del equipo de protección por factor tiempo al realizar el término de una tarea, lo cual permite el progresivo y desgaste parcial de la visión, para esto se debe de aplicar cursos, charlas e información por medio de la socialización en el manejo correcto de los instrumentos de soldadura y medidas de protección personales relacionados a los ojos.

### **Metodología**

Se aplicó los métodos descriptivos y observacionales mediante el diseño de investigación real con la ayuda de técnicas de encuestas basados con criterios estandarizados en las normas de seguridad e intervenciones personales, el cual se procedió a la visita del funcionamiento de los talleres que tienen estos dos tipos actividades de soldadura por arco y soplete autógeno.

Los sujetos de prueba fueron los trabajadores que dieron su consentimiento al ingreso de los diversos talleres que trabajan con soldadura por arco y con soplete autógena que están ubicados en los cantones de la Provincia El Oro. Se usó el grupo control aparentemente sanos varones de distinta edad (soldadores) y con el grupo de prueba (no eran soldadores). Las pruebas realizadas fueron examen físico-clínico para los trastornos oculares a saber.

Además, se recolectó la información estadística por medio de encuestas diseñadas para este propósito, se efectuó la tabulación de datos y cálculos estadísticos con estos resultados era para determinar los riesgos posibles de la luz que provienen de los dos tipos de soldadura. También se utilizó fuentes bibliográficas, artículos científicos, libros, tesis doctorales. Para los artículos científicos se realizó la búsqueda exhaustiva en la base a [phototoxicity to the retina]. Con toda esta información se procedió a hacer un análisis general para establecer la significancia de los mismos.

El universo estuvo constituido por 240 trabajadores inmersos a estos dos tipos de actividades que se realizan en la Provincia de El Oro, la muestra en la que se realizó el estudio fue deducida con un criterio estadístico, error estándar de 5 % y una confiabilidad del 95 %, se evaluó una incertidumbre en el momento de extraer el espécimen de un 2 %, su valor de n calculado fue de 240 soldadores idóneos para este estudio. Se aplicó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Dónde:

N: total, de la población = 240

p: proporción 5%

q: 0,95

Z: Seguridad por lo general utilizamos el 95% =1.96

d: precisión la constante es 2%.

También se aplicó la prueba t de Student para determinar la diferencia significativa entre los valores medios en los grupos de control y prueba. Se utilizó la prueba de CHI cuadrado para comprobar la significación entre los dos tipos de actividades de soldadura. P valores de menos de 0,05 se consideró estadísticamente significativa. Se empleó criterios de inclusión y exclusión: ósea 2 categorías a saber, soldadores de arco (n = 120) y los soldadores de soplete autógena (n = 120). Que voluntariamente accedieron a formar parte de la investigación. No se consideró dentro de este estudio a trabajadores que tenían más 60 años, debido a que las muestras eran insignificantes.

## Resultados y Discusión

Desde hace tiempo se sabe que la retina puede ser dañada por la luz intensa y que es importante entender los límites y mecanismos de fototoxicidad retiniana siendo necesario incorporar las buenas prácticas de seguridad sobre el correcto uso de los instrumentos de protección a los ojos. Esto nos ha llevado a la teoría de que la exposición a la luz juega un papel en algunas enfermedades de la retina y largo plazo con pérdida total de la visión (Dubra A 2014).

Se efectuó la investigación analizando a 240 trabajadores que realizan esta actividad de soldadura que representan el 90% de los trabajadores tienen su propio local de funcionamiento con los permisos respectivos de las autoridades de control. Al revisar las los posibles daños oculares de acuerdo a la síntomas que persisten por uso inadecuado de las herramientas de protección ocular y las encuestas realizadas a los trabajadores que hacen esta actividad se determinó que un 55,25 %, cumplen un patrón de síntomas causados por la exposición de la luz en contacto con los ojos, el 23,6 % de los individuos presentan más de dos síntomas, el 11,6%, no presenta ningún síntoma debido a que se realiza es porádicamente esta actividad y al correcta uso de los instrumentos de protección ocular. Figura 1a-b.

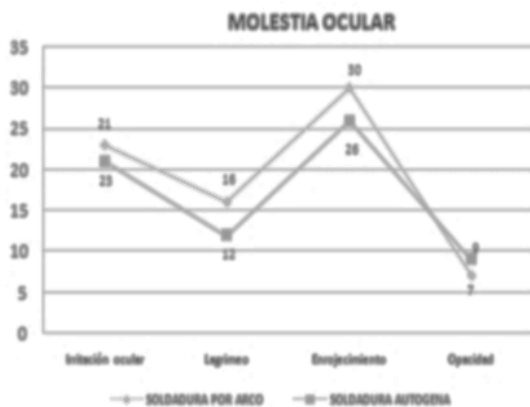


Figura 1 a. Tipo de molestia ocular

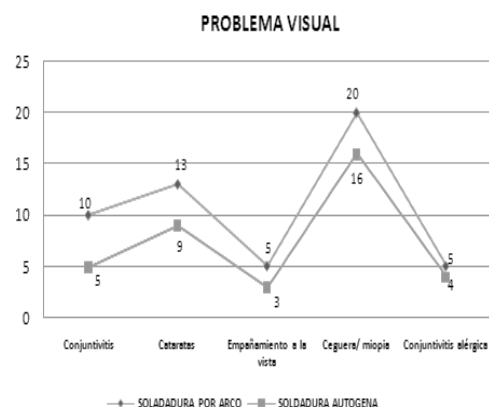


Figura 1 b. Problema visual.

Figura N 1.

Comparación entre las consecuencias después de efectuar la actividad de soldadura

Fuente: Autores

Este estudio demuestra que la exposición crónica de la luz proveniente de soldadura y sin medidas de precaución adecuadas puede causar desordenes oculares. Hubo una mayor incidencia de miopías, cataratas, conjuntivitis, y la conjuntivitis alérgica ( $P < 0,01$ ) entre los soldadores y los sujetos de control. La incidencia de estos valores suelen ser los causantes debidos a la emisión de los diversos gases que son emitidos durante el proceso de la soldadura pudiendo ser los posibles trastornos oculares en el individuo.

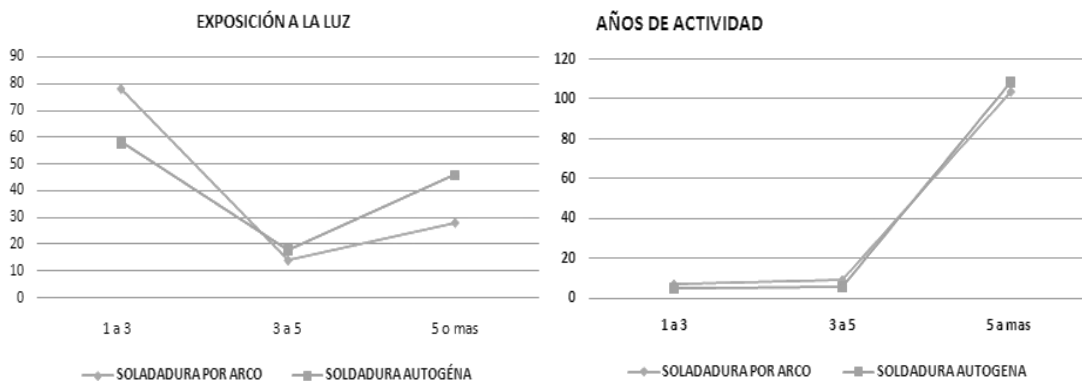


Figura N 2.

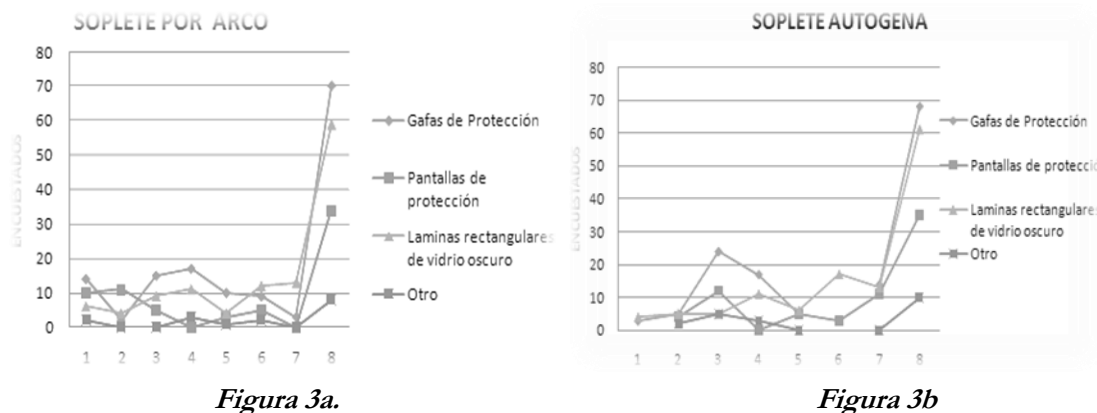
Figura 2 a. Actividad de soldadura por años

Figura 2 b. Tiempo de exposición de la luz antelos ojos.

Fuente: Autores

La Correlación de Pearson entre el grupo soldadores por arco y el grupo sujetos de control, se determinó que tienen una mayor incidencia en las molestias de la visión, por permanecer más tiempo en la aplicación de puntos en soldar siendo su demanda mayor a nivel comercial, obteniéndose una correlación de Pearson de 0,21. Estos valores se dieron en los trabajadores que no cumplen las normas de control y medidas de seguridad. La Correlación de Pearson entre soldadores del grupo por soplete autógena y el grupo de control, se comprobó que tienen una menor incidencia de la pérdida de visión, debido a que tienen menos tiempo en la aplicación de puntos en soldar y su demanda es menor a nivel comercial, obteniéndose una correlación de

Pearson de 0,17. Este resultado nos indica que la mejor forma de tener un mejor cuidado ocular y nivel de vida del trabajador soldador es la adecuada información sobre las normas de control y seguridad integral a nivel personal e industrial. Figura .3



**Figura N3.**  
 Comparación entre las soldaduras por arco y autógena  
 Medios de protección personal  
**Fuente:** Autores

### Conclusiones

Al realizar una revisión bibliográfica y comparar los resultados de distintos trabajos, se debe tener en cuenta que el diseño experimental entre diferentes grupos de estudios, puede presentar diferencias importantes. A pesar de todas las variables posibles que ofrecen los estudios sobre fototoxicidad retiniana, lo que sí es una constante en sus resultados es que la exposición crónica a la luz azul es lesiva para las células fotosensibles de la retina y que el impacto sobre la salud del individuo debe ser evaluado con mayor detalle y más rigurosamente en futuros estudios (Ophthalmol, 2008).

La soldadura por arco es más peligrosa para la visión que la soldadura con soplete autógena. La protección contra la luz, debería formar parte integral de un programa de prevención personalizada elaborado con la ayuda de los profesionales de la vista (Slaney, D.H., 2014). Estos estudios presentan limitaciones, sobre todo la falta de precisión respecto a las cantidades de luz enviadas e iluminaciones muy elevadas asociadas a mecanismos de toxicidad aguda de la luz más que a mecanismos crónicos. En cuestiones de salud ocular, se observa una falta de información que hace que la función de los profesionales de la vista se perciba como focalizada en soluciones correctivas o terapéuticas, y no preventivas.

Los resultados de la investigación amparan la necesidad de instruir varias actividades como las medidas preventivas siendo necesario las charlas, cursos de información sobre la actividad que realizan y las medidas de control temprano en diagnóstico visual preventivo y seguridad corporal sobre la fototoxicidad retiniana, ya que la mala información y sin medidas de precaución adecuadas puede causar ciertas enfermedades: trastornos oculares, alergias a la piel por la poca o mala información, esto favorece el desarrollo posterior de graves complicaciones permanentes en la salud del individuo.

## Agradecimiento

A los directivos del gremio de trabajadores de soldadores de la Provincia El Oro y al personal de cada local de trabajo de cada uno de los cantones, por habernos facilitado las encuestas en sus trabajadores y la infraestructura para la presente investigación.

Al semillero de Investigación de la carrera de Ingeniería Química, colegas en esta área y docentes de la Universidad Técnica de Machala, que estuvieron inmersos en el proceso de investigación, seguimiento, evaluación y tabulación de los resultados.

## Referencias

- Altimus, C.M., Güler, A.D., Villa, K.L., McNeill, D.S., Le Gates, T.A., Hattas, S. (s.f.) *Rods-cones and melanopsin detect light and dark to modulate sleep independent of image formation. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA.*
- Andonegui Navarro, J., Marcuerquiaga Arriaga, J. (2000). Lesiones fototóxicas inducidas por la luz de xenón. *Arch Soc Esp Oftalmol*. Recuperado de <http://www.oftalmo.com/seo/2000/02feb00/11.htm>
- Andre, B., Beckanhan, R., Chou, B.R., Gutstein, W., Sliney, D., Thomas, R., Tsubota, K. (2014) *¿Qué papel debería jugar la ciencia y/o la práctica clínica en la prevención de los problemas oculares causados por los rayos ultravioletas y la luz azul violeta?* Recuperado de <http://www.medigraphic.com/pdfs/finlay/fin-2017/fin171q.pdf>
- Antonio S. A-V. (1995). *Estadística descriptiva e inferencial*. Universidad de Castilla, La Mancha.
- Bonnin-Arias C., Chamorro-Gutiérrez E., Ramírez-Mercado G., Lobato-Rincón L.L., Navarro-Vals, Sánchez-Ramos C. (2011). *Protección de riesgos laborales de trabajadores que utilizan soplete autógeno*. Mapfre. Seguridad y Medio Ambiente.
- Brittain, G. P. (1988). Retinal burns caused by exposure to MIG-welding arcs: report of two cases. *British journal of ophthalmology*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1136/bjo.72.8.570>
- Barrau C., Cohen T., Villette T. (2014). *Un nuevo reto científico: la prevención personalizada del riesgo*.
- Dubra, A., Morgan, J.I., Wolfe, R., Merigan, W.H., Williams, D.R. (2009). In vivo autofluorescence imaging of the human and macaque retinal pigment epithelial cell mosaic. *Invest. Ophthalmol*. file:///C:/Users/Cristhian/Downloads/z7g00309001350.pdf
- Dubra, A., Sulai, Y., Norris, J. L., Cooper, R. F., Dubis, A. M., Williams, D. R., & Carroll, J. (2011). Noninvasive imaging of the human rod photoreceptor mosaic using a confocal adaptive optics scanning Ophthalmoscope. *Biomedical optics express*. Recuperado de <https://doi.org/10.1364/BOE.2.001864>
- G., Juan, D. e. (2011). *Maculopatía por fototoxidad*. México: Garaitia. Recuperado de <http://retina.com.mx/pdf/Grin%204.pdf#page=91>

- García, Ayuso D. (2011). *Estudio del efecto de la degeneración de los fotorreceptores en la población de células ganglionares de la retina*. (Tesis doctoral), Universidad de Murcia.
- Ham, W. T., Ruffolo, J. J., Mueller, H. A., & Guerry, D. (1980). *The nature of retinal radiation damage: dependence on wavelength, power level and exposure time*. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(80\)90047-4](https://doi.org/10.1016/0042-6989(80)90047-4)
- Ipsos, Jeunes Attitudes (2013). *Survey conducted in France, Germany, United States and China*. Recuperado de <http://www.pointsdevue.com/sites/default/files/uv-bluelight-e-book-esp.pdf>
- Kim S.R., Nakanishi K., Itagaki Y., Sparrow J.R. (2006). *Photooxidation of A2- PE, a photoreceptor outer segment fluorope, and protection by lutein and zeaxanthin*. *Exp Eye Res*.
- Kuse, Y., Ogawa, K., Tsuruma, K., Shimazawa, M., & Hara, H. (2014). Damage of photoreceptor-derived cells in culture induced by light emitting diode-derived blue light. *Scientific*.doi:10.1038/srep05223
- Macarez, R., Vanimschoot, M., Ocamica, P., & Kovalski, J. L. (2007). Optical coherence tomography follow-up of a case of solar maculopathy. *Journal francais d'ophtalmologie*. [https://doi.org/10.1016/S0181-5512\(07\)89590-8](https://doi.org/10.1016/S0181-5512(07)89590-8)
- Marshall J. (2014). *La fototoxicidad: Comprender los riesgos para la vista*. Doi: 10.1038/srep05223
- Martinsons, C., Zissis, G. (2014). *Potential Health Issues of Solid-State Lighting. Report of the International Energy Agency, Energy Efficient End-Use Equipment (4E), SSL Annex*. Recuperado de <http://ssl.iea-4e.org/task-1-quality-assurance/health-aspects-report;2014>.
- Ortín-Martínez, A., Jiménez-López, M., Nadal-Nicolás, F. M., Salinas-Navarro, M., Alarcón-Martínez, L., Sauvé, Y. & Agudo-Barriuso, M. (2010). Automated quantification and topographical distribution of the whole population of S-and L-cones in adult albino and pigmented rats. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113798>
- Ogawa, K., Kuse, Y., Tsuruma, K., Kobayashi, S., Shimazawa, M., & Hara, H. (2014). *Protective effects of bilberry and lingonberry extracts against blue light-emitting diode light-induced retinal photoreceptor cell damage in vitro*. *BMC complementary and alternative medicine*. Recuperado de <https://doi.org/10.1186/1472-6882-14-120>
- Oleart Comellas P., Pou Serra R., Rabassó Campí J., Sanz Gallén P. (2009). *Evaluación cualitativa de riesgos higiénicos. Operaciones básicas de soldadura*. Foment del Treball Nacional. Barcelona, España.
- Oleart C, Pou Serra R, Rabassó C, Sanz G. (2010). *Sistemas de ventilación para el control de los riesgos higiénicos en los procesos de soldadura*. Fomentdel Treball Nacional. Barcelona, España.
- Rodríguez-Marco, N. A., Andonegui -Navarro, J., Compains-Silva, E., Rebollo-Aguayo, A., Aliseda-Pérez- de-Madrid, D. & Aranguren-Laflin, M. (2008). OCT. Fototoxicidad macular. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*.

Sierra, C., Zaragoza, V., Martinez, S., Pujalte, B., Palomar, F. (2015). *Reacciones de fotosensibilidad de origen exógeno: fototoxia y fotoalergia photo sensitivit y reactions of exogenousorigin: phototoxic and photoallergy*. Recuperado de [http://www.anedidic.com/descargas/formaciondermatologica/26/reacciones\\_de\\_fotosensibilidad\\_fototoxia\\_y\\_fotoalergia.pdf](http://www.anedidic.com/descargas/formaciondermatologica/26/reacciones_de_fotosensibilidad_fototoxia_y_fotoalergia.pdf)

Voke, J. (1999). *Efecto de la radiación en el ojo - ocular. Seguridad con capas y otras fuentes ópticas*. Recuperado de <http://www.bioline.org.br/pdf?np07009>



# Determinación de la capacidad cicatrizante del mucilago del melloco (*Ullucus tuberosus*) en heridas inducidas en ratones experimentales

**Paul Stalin Ricaurte Ortiz**

Universidad Nacional de Chimborazo  
pricaurte@unach.edu.ec

**Luis Fernando Arboleda Álvarez**

Universidad Nacional de Chimborazo  
luis\_arboleda3@hotmail.com

**Elba María Bodero Poveda**

Universidad Nacional de Chimborazo  
ebodero@unach.edu.ec

## Resumen

El presente trabajo de investigación se desarrolló con la finalidad de determinar la capacidad cicatrizante del mucilago del melloco (*Ullucus Tuberosus*) en heridas inducidas en animales de experimentación (ratones) del tipo (*Muss Musculus*). Las muestras fueron tomadas en animales de 6 meses de edad sin distinción de sexo, para ser inducidos a heridas y evaluar el tiempo de cicatrización de la misma, con la aplicación del mucilago vs la aplicación de suero fisiológico, dando seguimiento durante la etapa de cicatrización total, por un lapso de 21 días. Además, la aplicación del gel a partir del mucilago, para la prueba de hipótesis se emplea T de Student para muestras no relacionadas o independientes, la media del estadístico determina 0,3214 para heridas donde el gel fue utilizado y 0,5962 para heridas tratadas con suero fisiológico, aceptando la hipótesis,  $H_1: \mu_g < \mu_s$ , "El gel elaborado a partir del mucilago del melloco si tiene propiedades cicatrizantes".

**Palabras clave:** Capacidad, Cicatrizante, Mucilago, Heridas, Ratones.

## Abstract

This research was carried out with the purpose of determining the healing capacity of the mucilago of the melloco (*Ullucus Tuberosus*) in induced wounds in experimental animals (mice) of the type (*Muss Musculus*), the samples were taken from animals of 6 Months of age without distinction of sex to be induced to wounds and to evaluate the time of healing of the wound with the application of mucilage Vs the application of physiological serum, giving follow-up during the stage of total cicatrization for a period of 21 days besides the application Of the gel from the mucilage, for the test of hypothesis Student T is used for unrelated or independent samples, the mean of the statistic determines 0.3214 for wounds where the gel was used and 0.5962 for wounds treated with physiological serum, Accepting the hypothesis,  $H_1: \mu_g < \mu_s$ , "The gel made from the mucilago of melloco if it has healing properties ".

**Keywords:** Capacity, Healing, Mucilage, Wounds, Mice.

## Introducción

En el Ecuador, el cultivo del melloco es el segundo tubérculo en importancia, después de la papa (Tapia *et al.* 1996), es parte de la alimentación de la población ecuatoriana y su cultivo contribuye un componente del sistema agrícola de un amplio sector de pequeños agricultores. Presenta algunas bondades agronómicas que le

confieren ciertas ventajas sobre otros, pues es cultivado con un mínimo uso de fertilizantes y pesticidas, se produce en suelos marginales de baja fertilidad, es tolerante a heladas, plagas y enfermedades y su costo de producción es bajo (Vimos 1993).

Dependiendo de la provincia, los consumidores prefieren los mellocos de color amarillo, rojo, blanco jaspeado (blanco con pigmentos rosados), rosado (INIAP 2015).

Según Sperling, 1981, citado por Castillo y Tapia el melloco pertenece a la familia Basellaceae y consta de cuatro géneros diferenciados morfológicamente (Anredera, Tounomia, Bassella, Ullucus).

De estos géneros el Ullucus es el más popular y de presencia arraigada en la mesa de los habitantes tanto rurales como urbanos de los países como Ecuador, Perú y Bolivia.

### **Importancia del problema**

Cada año, 100 millones de pacientes adquieren heridas ya sea por quemaduras o por accidentes de diferente índole. Al producirse una herida, se desencadena un sinnúmero de eventos asociados a esta, que van desde un proceso inflamatorio, en muchos casos acompañados de hemorragia y una serie de síntomas que dependen del sitio topográfico y de la profundidad de la lesión, por lo que requieren de un tratamiento inmediato y efectivo. (Contreras, 2012)(Nettel, y otros, 2013).

Las heridas pueden ser agudas y estas a su vez, según el mecanismo por el cual se producen la lesión se clasifican en: incisas, contusas, lacerantes, abrasivas, penetrantes con o sin pérdida de tejidos; o crónicas como por ejemplo úlceras vasculares, úlceras por presión, úlceras por pie diabético, o aquellas heridas agudas de difícil cicatrización como las traumáticas y la dehiscencia quirúrgica. (Contreras, 2012), (Nettel, y otros, 2013).

La humanidad ha utilizado plantas, vegetales, frutos, tubérculos, etc., para curarse durante toda su historia y producto de ello, se ha generado muchos conocimientos sobre el uso y preparación de productos medicinales y terapéuticos, aprendizaje que se ha transmitido de generación en generación. Por muchos años los remedios naturales, fueron el principal y único recurso que disponían los antiguos médicos. (Juro, Flores, Mendoza, & Carpio, 2010)

Por todo lo antes mencionado, la importancia de esta investigación radica en la necesidad de promover alternativas para el tratamiento de heridas sobre todo aquellas que suelen ser complicadas de sanar y que en muchos de los casos dejan cicatrices inestéticas.

### **Metodología**

#### **Materiales y Métodos**

En el presente proyecto se realizó en el bioterio de la UNACH, se utilizó el diseño experimental completamente al azar, realizando varias pruebas para poder determinar el proceso agroindustrial que permita obtener un “gel” a partir del mucílago del melloco.

#### **Materiales**

##### **Material vegetal**

El material vegetal utilizado (Melloco de la familia *Basellaceae* del género *Ullucus tuberosus*) fue recolectado de la provincia de Chimborazo.

## **Material biológico**

Para esta investigación se utilizó 7 ratones de género *Mus musculus*, Cepa B ALB/C. Estos animales son genéticamente estandarizados, aptos para destinarlos a la investigación y desarrollo de causas, diagnóstico y tratamiento de enfermedades que afectan a los seres humanos, así mismo para la producción y control de medicamentos o productos alimenticios.

Los ratones son utilizados por su fácil manejo, por su capacidad de reproducción, son estables en periodos, variabilidad genética. Por lo tanto, los animales deben ser criados en condiciones adecuadas tratados con principios éticos acerca del bienestar del animal

## **Material de Laboratorio**

### **Equipos**

- Balanza METTLER TOLEDO ME 204
- Equipo de disección
- Cabina de Flujo Laminar Biobase DX A201805
- Procesador de Tejidos MICROM STP 120
- Micrótopo MICROCOSMOS SHANDON FINESSE
- Batidora Industrial Kitchen aid
- Cuchillo acero inox 304
- Recipientes metálicos acero inox 304

### Reactivos

#### Éter Étílico

- Agua destilada
- Alcohol potable
- Suero Fisiológico
- Carbopol
- Trietanolamina
- Glicerina
- Dimeticona
- Parabenos: Metil y Propil

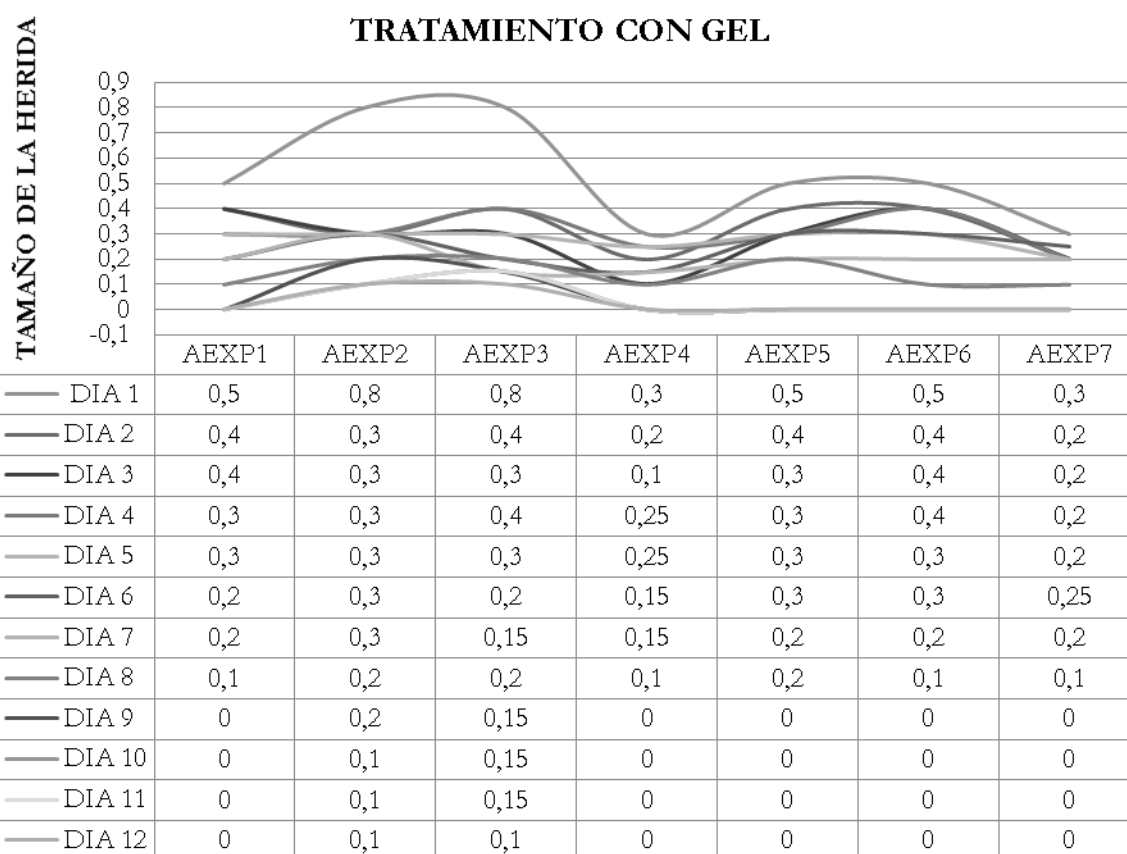
## **Resultados**

Para determinar la capacidad cicatrizante del gel, se realizaron heridas de 1.6 a 1.8 cm de diámetroaproximadamente, tomando datos de medidas de cicatrización en merma (regeneración de tejido y reducción de la herida), lostratamientos arrojaron valores que se encuentran en la tabla N° 1 y N°

**Tabla 1.**  
Tratamiento con gel

Tratamiento con gel

Raton	Dia0	Dia1	Dia2	Dia3	Dia4	Dia5	Dia6	Dia7	Dia8	Dia9	Dia10	Dia11	Dia12
1	1,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0	0	0	0
2	1,7	0,8	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
3	1,8	0,8	0,4	0,3	0,4	0,3	0,2	0,15	0,2	0,15	0,15	0,15	0,1
4	1,6	0,3	0,2	0,1	0,25	0,25	0,15	0,15	0,1	0	0	0	0
5	1,7	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0	0	0	0
6	1,8	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1	0	0	0	0
7	1,8	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,25	0,2	0,1	0	0	0	0

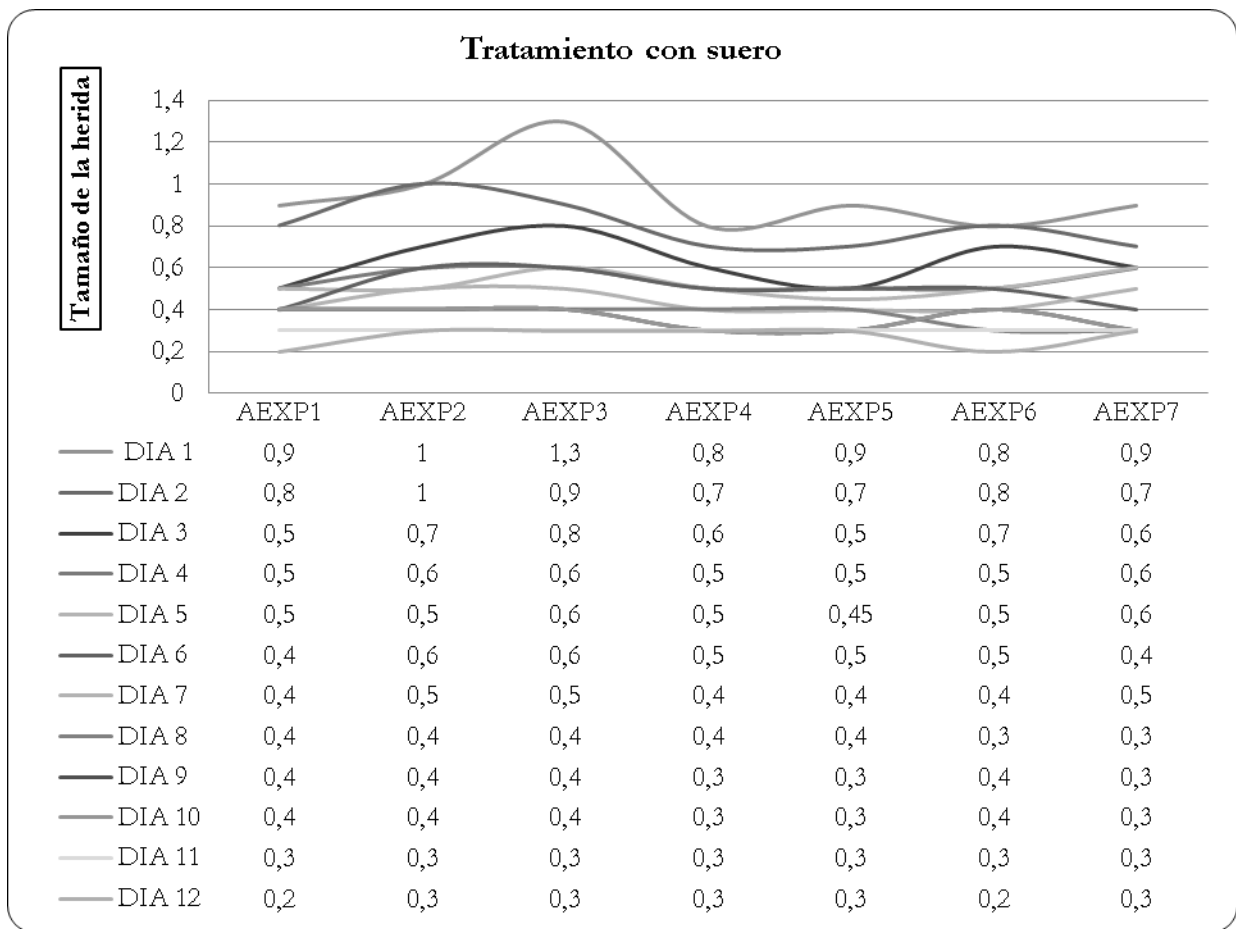


**Figura 1.**  
Tratamiento con gel  
**Fuente:** los autores

**Tabla 2.**

Tratamiento con suero fisiológico  
**Tratamiento con suero fisiológico**

Raton	Dia 0	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Dia 8	Dia 9	Dia 10	Dia 11	Dia 12
1	1,6	0,9	0,8	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2
2	1,7	1	1	0,7	0,6	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
3	1,8	1,3	0,9	0,8	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
4	1,6	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
5	1,7	0,9	0,7	0,5	0,5	0,45	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
6	1,8	0,8	0,8	0,7	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2
7	1,8	0,9	0,7	0,6	0,6	0,6	0,4	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3



**Figura 2.**

Tratamiento con suero

Fuente: Autores

Los 182 datos son generados a partir de ratones, es una muestra de tipo no aleatorio en dos grupos distintos de ratones. La prueba de hipótesis empleada es T de Student para muestras no relacionadas o independientes.

Prueba de hipótesis:

$H_0: \mu_g = \mu_s$  Hipótesis nula

$H_1: \mu_g < \mu_s$  Hipótesis del investigador

Donde;

$\mu_g$	parámetro de tratamiento con gel
$\mu_s$	parámetro de tratamiento con suero fisiológico

1. Nivel de significancia = 5% = 0,05
2. Estimación del p-valor.
3. Toma de decisión:  $p < 0,05$  se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$

Uso del spss para demostrar la prueba de hipotesis para muestras no relacionadas

T-Test Groups=Tratamiento (1=Gel 2= Suero Fisiológico)

/Missing=Analysis

/Variables=Herida

/Criteria=Ci (.95).

T-Test	
Notes	
Output Created	07-JUL-2017 15:57:07
Comments	
Input	Data C:\Users\Hewlett Packard\Desktop\SUEROGELDEF.sav
	Active Dataset DataSet1
	Filter <none>
	Weight <none>
	Split File <none>
	N of Rows in Working Data File 182
MissingValueHandling	Definition of Missing User defined missing values are treated as missing.
	Cases Used Statistics for each analysis are based on the cases with no missing or out-of-range data for any variable in the analysis.
Syntax	T-TEST GROUPS=TRATAMIENTO(1=GEL 2= SUERO FISIOLÓGICO) /MISSING=ANALYSIS /VARIABLES=HERIDA /CRITERIA=CI(.95).
Resources	Processor Time 00:00:00,00
	Elapsed Time 00:00:00,02

### Group Statistics

Tratamiento	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
GEL	91	,3214	,43666	,04577
SUERO	91	,5962	,38328	,04018

### Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means	
		F	Sig.	t	Df
Tamaño de herida	Equal variances assumed	,015	,904	-4,511	180
	Equal variances not assumed			-4,511	177,024

### Independent Samples Test

		t-test for Equality of Means		
		Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Tamaño de herida	Equal variances assumed	,000	-,27473	,06091
	Equal variances not assumed	,000	-,27473	,06091

### Independent Samples Test

		t-test for Equality of Means	
		95% Confidence Interval of the Difference	
		Lower	Upper
Tamaño de herida	Equal variances assumed	-,39491	-,15454
	Equal variances not assumed	-,39492	-,15453

La media del estadístico determina 0,3214 para heridas donde el gel fue utilizado y 0,5962 para heridas tratadas con suero fisiológico.

Una vez establecido un valor de significancia del 0,05 y considerando que el valor estimado de  $p$  es 0, la hipótesis del investigador es aceptada.

$p < 0,05$  se acepta  $H_1$

### Ensayo de irritabilidad

Este ensayo se realizará con el fin de evaluar las reacciones que produce el mucílago sobre la piel de los ratones.

Utilizar dos ratones elegidos de forma aleatoria.

Depilar el lomo de los ratones y se deja reposar de 24 a 48 h, limpiar el área depilada con suero fisiológico antes de aplicar el extracto.

Aplicar el mucílago sin hacer ningún tipo de disolución, de forma directa de la parte depilada con la ayuda de un hisopo.

A las 6 h después de la primera aplicación, aplicar por segunda vez.

A las 24 h evaluar si existe presencia de enrojecimiento y erupción cutánea.

### **Elaboración del gel**

Para la elaboración de los geles con propiedades cicatrizantes al 1% se siguió los siguientes pasos:

**Paso 1:** Mezclar 90 mL de agua + 0,8 g de Carbopol + 0,2g de Goma Xantan + 2,4 g de Dimeticona + 0,4 g de TEA. El agua+ Carbopol+ Goma Xantan deberá mezclarse previo un día antes. Para después incorporar los otros excipientes.

**Paso 2:** En 3 mL de agua caliente disolver 0,090 g de MetilParabeno Sódico + 0,010 g de PropilParabeno Sódico.

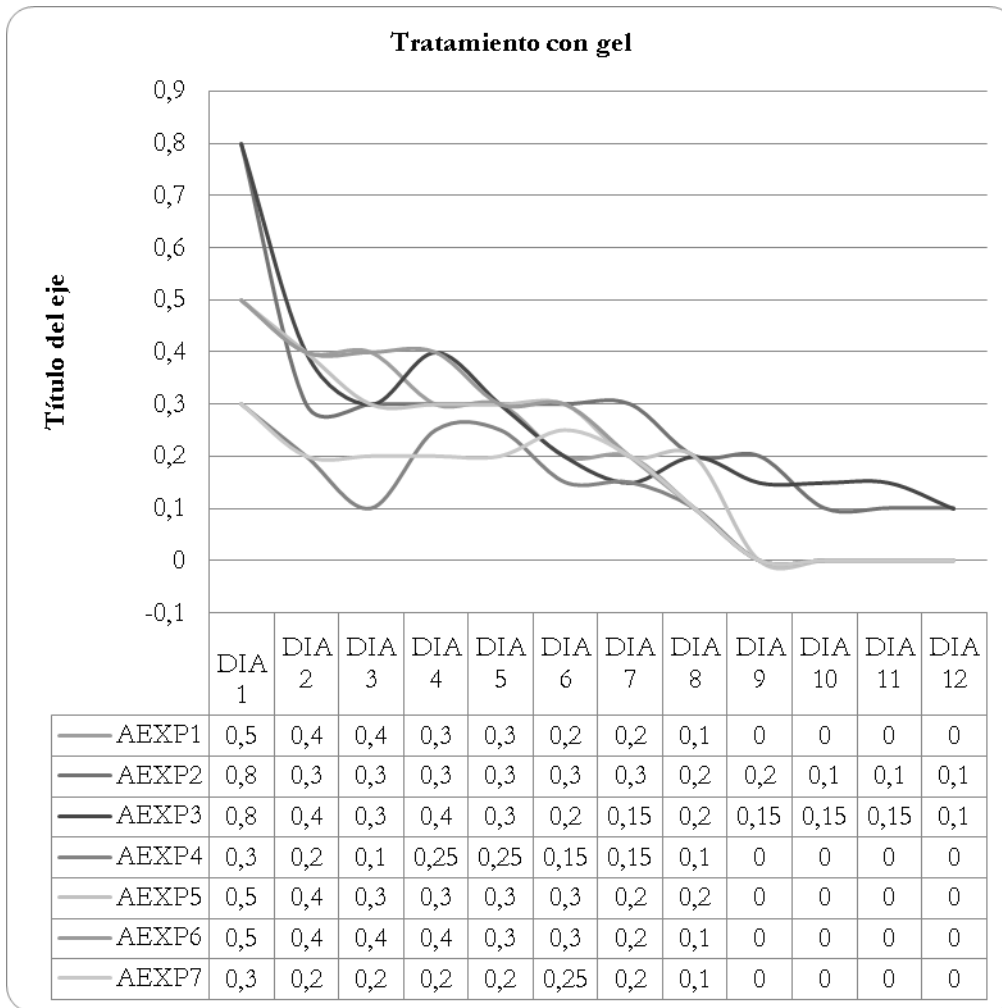
**Paso 3:** Mezclar 2 g de mucílago +1 g de glicerina.

**Paso 4:** Mezclar lo realizado en los pasos 2 y 3. Mientras se va mezclando se debe agitar constantemente.

### **Discusión**

En la figura 3 se muestra las curvas de los tamaños de las heridas y su regeneración, que en su mayoría llegan a cerrarse completamente con un valor de 0.1 desde el día 9 aproximadamente en los 7 experimentos aplicando el gel.



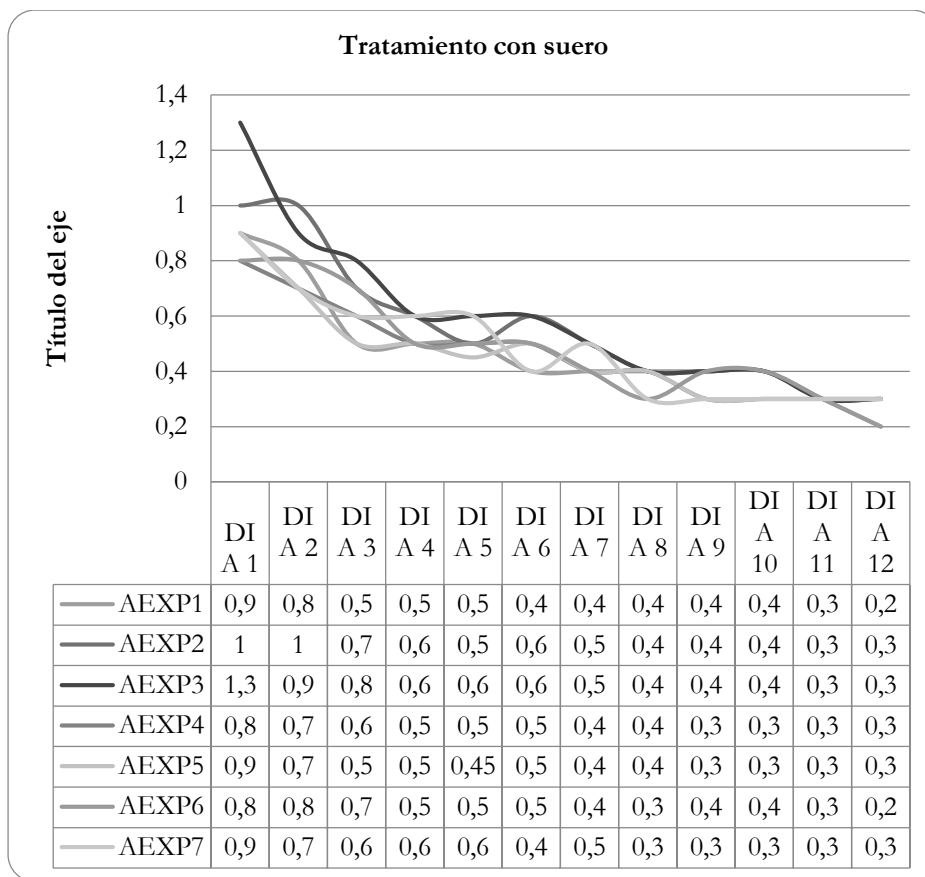


**Figura 3.**

Tratamientos experimentales con gel

**Fuente:** Autores

En la figura 4 se muestra las curvas de los tamaños de las heridas y su regeneración, que en su mayoría llegan a cerrarse completamente con un valor de 0.3 desde el día 8 aproximadamente en los 7 experimentos aplicando el suero.



**Figura 4.**

Tratamientos experimentales con gel

**Fuente:** Autores

### Conclusiones

La regeneración con la aplicación de gel fue más eficiente y muestra una curva más homogénea en los siete experimentos demostrando que el nivel de cicatrización con gel se produce en menos días que con la utilización de suero, además de la cicatrización con la aplicación del gel existe crecimiento de pelo y regeneración neovascular, demostrando la hipótesis: El gel elaborado a partir del mucilago del melloco si tiene propiedades cicatrizantes

### Agradecimiento

A la Universidad Nacional de Chimborazo y a los colaboradores.

### Referencias

- Barrera. H., Tapia Monteros, R. (1996). *Raíces y tubérculos andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador*.
- Contreras, J. (2012). *Abordaje y manejo de las heridas*. México, México: Distribuna.
- Durán F. (2009). *La biblia de las recetas industriales*. Impresión: D'Vinni, pp. 541-545
- Guedj M., Sosiasd G. & Chesne C. (2012). *Tratado práctico de horticultura*, Ediciones Omega, p. 276

INIAP (2015). *Primer encuentro nacional de bosques, recursos genéticos forestales y agroforestería*. Recuperado de [http://www.iniap.gob.ec/web/wp-content/uploads/2015/12/1.Memorias\\_Primer-encuentro-de-bosques-Ecuador-08-JUNIO-2015.pdf](http://www.iniap.gob.ec/web/wp-content/uploads/2015/12/1.Memorias_Primer-encuentro-de-bosques-Ecuador-08-JUNIO-2015.pdf).

Juro, S., Flores, V., Mendoza, Y., & Carpio, C. (2010). Efecto cicatrizante de las diferentes foras farmacéuticas tópicas elaboradas con el extracto huidoalcohólico de *Junglans neotropica* Diels "nogal" en ratones albinos. *Folia Dermatologica Peruana*, 21 (1), p.20.

Nettel, F., Rodríguez, N., Nigro, J., González, M., Conde, A., Muñoa, A., & Redigonda, E. (2013). Primer consenso latinoamericano de úlceras venosas. *Angiología*, 41(3), pp. 95-126.

Vimos, N., Nieto C., Rivera M. (1993). Recuperado de [repositorio.iniap.gob.ec](http://repositorio.iniap.gob.ec)

# Modelamiento de fenómenos macroscópicos complejos con autómatas celulares: una propuesta de mitigación para lahares

**Guillermo Machado**

Universidad Nacional de Chimborazo  
gmachado@unach.edu.ec

**Lorena Molina**

Universidad Nacional de Chimborazo  
lmolina@unach.edu.ec

**Yesenia Cevallos**

Universidad Nacional de Chimborazo  
ycevallos@unach.edu.ec

**Valeria Lupiano**

University of Calabria  
valeria.lupiano@unical.it

**Salvatore Di Gregorio**

University of Calabria  
salvatore.digregorio@unical.it

## Resumen

Los lahares representan uno de los desastres naturales en el mundo más destructivos en términos de pérdidas de vidas humanas y daños materiales a su paso y probablemente, el más peligroso en el área volcánica. Los lahares son flujos de superficie que se caracterizan por tener una combinación compleja de muchos factores interrelacionados, además del proceso del flujo de superficie: percolación del agua-lluvia en el suelo (lahares secundarios), erosión del estrato volcánico, inclusión y extracción de agua en el recorrido del lahar, fusión del hielo y la mezcla con las emisiones volcánicas (lahares primarios). Además de los dispositivos de alerta inmediata, han sido recientemente adoptados en las zonas en situaciones de riesgo medidas de seguridad, basados en la construcción de presas, diques, embalses en posiciones claves para contener y/o desviar potenciales lahares. Tales soluciones pueden implicar un fuerte impacto ambiental ya sea por las obras realizadas, así como por la acumulación continua de depósitos volcánicos. En este artículo, se considera la hipótesis que favorecen el desencadenamiento de pequeños lahares, a través de la formación de pequeños embalses, fácil de colapsar. Estamos investigando de manera preliminar una solución de bajo costo utilizando herramientas de simulación apropiadas: el modelo de Autómatas Celulares LLUNPIY.

**Palabras claves:** Lahar, Modelización y simulación, Presa, Peligros naturales, LLUNPIY.

## Abstract

Lahars represent one of the most destructive natural disasters regarding the loss of human lives and property damage in their path. Lahars are a complex combination of many interrelated processes besides the process of surface flow: rainwater percolation in the soil (secondary lahars), volcanic stratum erosion, water inclusion and extrusion in lahar, ice melting and mixing with volcanic emissions (primary lahars). Beside tools of early

warning, security measures have been adopted recently in volcanic areas, by constructing dams and embankments in key positions for containing and deviating possible lahars. This solution could involve a strong environmental impact both for the works and continuous accumulation of volcanic deposits. In this paper, we consider the hypothesis that favors the triggering of small lahars, through the formation of small reservoirs, easy to collapse. We are investigating in a preliminary way a low-cost solution using appropriate simulation tools as LLUNPIY Cellular Automata model.

**Keywords:** Lahar, Modeling and simulating, Dam, Abstract, Hazards natural, LLUNPIY.

## Introducción

### Introducción al problema

Los Lahares se refieren a procesos generados en los flancos de los volcanes por una alta mezcla de agua y material de origen volcánico, este sistema dinámico complejo representa probablemente una de las catástrofes naturales más destructivas en el mundo y han sido responsables de al menos el 15% de víctimas mortales ocasionadas por fenómenos naturales entre los siglos XVII y XIX (Thouret et al., 2000). La tasa de mortalidad por estos eventos volcánicos, durante el siglo XX, ascendió a un 40% a consecuencia de lahares a gran escala, como el que se generó en el volcán Kelud (Indonesia) en 1919, con más de 5000 víctimas mortales, y el ocurrido en el Nevado del Ruiz (Colombia) en 1985, con más de 23000 pérdidas humanas y sepultando la ciudad de Armero entre sus depósitos. (Thouret et al., 2000).

Los lahares primarios son generados directamente por las actividades volcánicas, cuando ocurre una liberación de agua embalsada en el cráter debido a explosiones volcánicas, o cuando la lava o los flujos piroclásticos derretin la nieve y masas glaciares alrededor del cráter, por el deshielo de nieve o hielo por calor térmico en la base de un glaciar tal como ocurrió en el volcán Katla (Islandia) en 1918 (Major y Newhall, 1989), o por la transformación de una avalancha de derrubios, ocurrido por ejemplo en el Mount St. Helens en 1980 a causa del colapso de una ladera del volcán, que provocó una avalancha que arrastró restos de los glaciares que se localizaban en la cima (Muñoz, 2007). El lahar secundario en cambio se forma cuando sedimentos volcánicos no consolidados de las actividades volcánicas anteriores se movilizan por el aporte de grandes cantidades de agua como resultado de condiciones meteorológicas extremas tales como intensas lluvias, tifones, etc., o incluso por el colapso de represas naturales (Barclay et al., 2007).

Después de las erupciones del Mt. St. Helens, (Washington, USA), en 1980, y el Nevado del Ruiz (Colombia), en 1985, la comunidad científica internacional empezó a brindar atención al fenómeno de los “lahares”, que constituyen, uno de los fenómenos volcánicos asociados más importantes y devastadores. La modelización computacional ha consolidado su rol como herramienta de estudio y análisis de este tipo de fenómenos, gracias a la evolución rápida de la potencia de los ordenadores, así como la mejora de los métodos, la innovación y creación de nuevas metodologías.

Varios enfoques se han llevado a cabo en las últimas décadas para modelar el comportamiento de los lahares y los peligros que representan para las comunidades aguas abajo (Manville et al., 2013): modelos empíricos basados en el análisis estadístico de las estimaciones de campo de diversos parámetros de eventos y depósitos de lahares ocurridos (ejemplo, LAHARZ (Schilling, 1998)), modelos reológicos e hidrológicos simples, que asumen simplificaciones aceptables como un comportamiento de flujo de composición e independencia o comportamiento de flujo newtoniano (Costa, 2004), formulaciones teóricas que tratan de describir el comportamiento constitutivo en combinaciones multifase (Pitman et al., 2003). Existen otros modelos que

fueron utilizados para la simulación computacional de flujos granulares, de escombros y lahares, como, por ejemplo, el modelo bidimensional TITAN2D, desarrollado por Geophysical Mass Flow Group de la Universidad de Búfalo (Estados Unidos).

Algunos eventos naturales son difíciles de ser simulado por los modelos existentes válidos en un nivel "microscópico" o "mesoscópico" ya que generalmente evolucionan en áreas muy grandes, por lo que requieren un nivel "macroscópico" de la descripción del evento en estudio. En este caso, los Autómatas Celulares Macroscópicos o Multicomponentes (ACM) (Di Gregorio, S., y Serra, R., 1999), que son una extensión de los Autómatas Celulares (AC) clásicos, pueden representar una opción válida para el modelado y la simulación de estos sistemas dinámicos complejos, como los fenómenos naturales de fluido dinámico.

Los mecanismos enunciados anteriormente fueron modelados de acuerdo al enfoque metodológico de ACM para la simulación por ordenador de flujos de superficie, como: percolación del agua (modelo SOIL y modelo SCAVATU (D'Ambrosio et al., 2001); desprendimientos de suelo que evolucionan en escombros, lodo y flujos granulares (familia de modelos SCIDDICA (D'Ambrosio et al., 2001; Avolio et al., 2008, 2010)). También, la solidificación podría ser descrita como variación de viscosidad por la pérdida de agua en forma similar a la variación de viscosidad de los flujos de lava por enfriamiento (modelo SCIARA (Di Gregorio, S., y Serra, R., 1999; Avolio et al., 2006).

Además de las herramientas de alerta temprana, recientemente se han adoptado medidas de seguridad en los territorios volcánicos sujetas a lahares, la construcción de diques y muros de contención en posiciones claves para contener y/o desviar las trayectorias probables de estos flujos (Pierson et al., 1992). Esta solución podría implicar un impacto ambiental significativo ya sea por las obras realizadas como por la acumulación continua de depósitos volcánicos, de manera que las condiciones de equilibrio en el tiempo fallarían, causando eventos más destructivos.

El aumento de la frecuencia de lahares en el valle de Vascún del volcán Tungurahua, Ecuador, posiblemente debido al cambio climático, han producido recientemente eventos pequeños de lahares y por lo tanto menos peligrosos, teniendo en cuenta los períodos más cortos de acumulación. Por otra parte, se han verificado que los pequeños deslizamientos de tierra, han producido embalses naturales que forman pequeñas cuencas fáciles de colapsar lo que podrían desencadenar lahares como resultado de lluvias abundantes.

Herramientas de simulación bien validados como el modelo LLUNPIY (término que proviene de la palabra Kichwa llunpi'y que significa "inundación": Lahar modelling by Local rules based on an UNderlying PIck of Yoked processes) sobre la base de los datos espaciales precisos permitirían identificar puntos, donde las acumulaciones de materiales de escombros constituirían diques formando pequeñas cuencas de agua. En estos puntos, eventos menores de lluvias pueden colapsar estas presas artificiales lo que se generarían pequeños lahares, eventos mayores anticiparan el desprendimiento del lahar, evitando la confluencia simultánea con otros lahares.

En este artículo, nuestro propósito es utilizar el modelo LLUNPIY como herramienta de simulación con el objeto de reproducir este tipo de fenómeno con respecto a la fase de propagación y evolución del flujo lahárico y predecir la trayectoria más probable, considerando la hipótesis de favorecer el desencadenamiento de pequeños lahares, a través de la construcción de muros que formarían pequeños embalses fácil de colapsar, donde las simulaciones permitan explorar las mejores condiciones para la generación controlada de lahares.

En la segunda sección se presenta el modelo LLUNPIY bajo el enfoque metodológico de AC, en la tercera parte está dedicado al diseño preliminar de diques predispuestos a colapsar, luego tenemos los resultados preliminares y discusión de las diferentes simulaciones de supuestos eventos controlados ocurridos en el Valle de Vascún, Ecuador.

### **Importancia del problema**

Los lahares, como se mencionó anteriormente, es uno de los eventos catastróficos naturales más destructivos en términos de número de víctimas mortales causados en eventos sucedidos en el mundo y por el riesgo para las poblaciones asentadas en los flancos de los volcanes. Por su alta frecuencia, estos fenómenos han sido estudiados con dos finalidades, primera, comprender el origen y el comportamiento que presentan y la segunda, está focalizada en la evaluación y prevención del riesgo. En Ecuador existen más de 80 volcanes, 27 de estos volcanes son considerados potencialmente activos con algún tipo de actividad en los últimos 10000 años. De la lista de volcanes activos, 7 indican actividad histórica desde 1534. Según el Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional de Ecuador (IGPN), responsable de la vigilancia volcánica y sísmica, así como de alertas en caso de actividad volcánica, existen tres de los volcanes activos más temidos en Ecuador continental: Tungurahua, Pichincha, y Cotopaxi. Alrededor del 35% de ecuatorianos (4,4 millones) viven en las áreas de peligro volcánico. En el volcán Tungurahua se tuvieron hasta 1 000 lahares secundarios desde 1999, cuando comenzó su proceso eruptivo.

La profunda motivación para esta investigación nace del deseo de contribuir a la mitigación del riesgo volcánico en nuestro país, Ecuador. Esta motivación se concreta mediante la exploración de posibles aplicaciones del modelado y simulación mediante Autómatas Celulares de lahares (reales e hipotéticos) en términos de sistemas dinámicos muy complejos, escenarios de peligro y posibles obras de protección para prevenir consecuencias potencialmente catastróficas de este fenómeno. En este contexto, los objetivos de la investigación se relacionan con el estudio e implementación de técnicas y algoritmos innovadores en el campo de la Ingeniería e Informática para el modelado de procesos geológicos y dinámica de fluidos mediante el paradigma computacional basado en Autómatas Celulares con representación tridimensional interactiva y visualización de datos relacionados con las simulaciones.

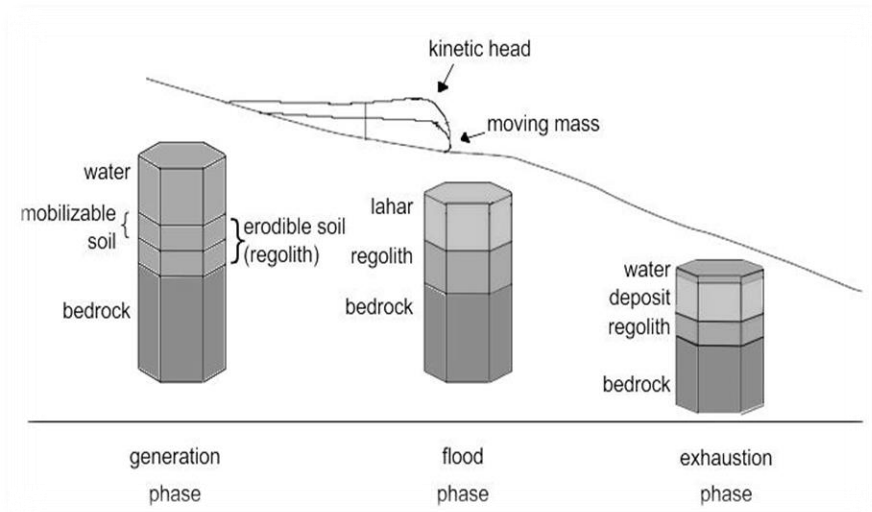
### **Metodología**

Los Autómatas Celulares Multicomponentes (ACM) se caracterizan como un enfoque metodológico para modelar sistemas complejos, especialmente macroscópicos, que necesitan muchos componentes tanto para los estados (subestados) con el propósito de tener en cuenta las diferentes propiedades de la célula y para la transición (Procesos "elementales"), para describir los procesos locales que constituyen el fenómeno global. Por otra parte, se consideran algunos parámetros (por ejemplo, la dimensión de la celda, el paso temporal correspondiente de un ACM, etc.) que permiten "afinar" el modelo para reproducir diferentes comportamientos dinámicos del fenómeno, tomando en consideración sus características físicas/empíricas.

Al comienzo de la simulación, los estados de la celda se inicializan mediante valores de entrada (por ejemplo, mediante matrices). Los parámetros del modelo también deben ser asignados en esta fase. Mediante la aplicación simultánea de la función de transición  $\tau$ , a todas las celdas y en intervalos discretos se modifican los estados y la evolución del fenómeno puede ser simulado. Los subestados permiten operar en tres dimensiones efectivas mediante el ACM bidimensional, si todas las cantidades relativas a la tercera dimensión pueden expresarse como subestados; Este es el caso de LLUNPIY, que adopta una teselación hexagonal, asegurando la menor anisotropía para el AC de dos dimensiones y minimiza el problema de simetrías espurias.

Además, un paso del ACM es una secuencia ordenada de procesos elementales aplicados y cada proceso elemental implica la actualización del estado del ACM. Eventualmente, el fenómeno investigado implica una influencia externa que no puede describirse en términos de reglas locales (por ejemplo, la lluvia), por lo que un tipo de input desde “el mundo externo” para algunas celdas tiene que ser introducido en el enfoque de los ACM (Avolio et al., 2008; Di Gregorio, S., & Serra, R., 1999).

Los lahares son modelados por LLUNPIY en tres principales fases (Figura 1): Fase de generación: En el caso de lahares primarios, éstos se generan a partir de flujos piroclásticos y la fusión del casquete glaciario del volcán, debido a la interacción de los productos eruptivos con la cima del glaciar. En el caso de lahares secundarios, las fuertes lluvias movilizan abundantes sedimentos no consolidados en pendientes pronunciadas por la percolación de una cantidad de agua, lo que determina el colapso de las fuerzas de cohesión de los componentes del suelo. Fase de inundación: Los flujos de lahar se desarrollan a lo largo de las empinadas laderas del volcán con una alta energía potencial gravitacional y una turbulencia con un incremento de volumen debido a la erosión del suelo y la inclusión de agua a lo largo de los cauces de los ríos. Fase de agotamiento: El flujo del lahar reduce su energía cinética y velocidad en las áreas planas; la rápida disminución de la turbulencia causa la formación de depósitos a través de la extrusión de agua. En ésta última, en algunos casos, el lahar puede parcialmente “ser diluido” y “desaparecer”, si converge a un flujo de agua lo suficientemente grande como para ser embebido el material del lahar.



**Figura 1.**

Representación de las tres fases: fase de generación antes del colapso del estrato movilizable; fase de inundación con el lahar y fase de agotamiento con depósito de lahar y extrucción de agua.

**Fuente:** (Machado et al., 2015)

### Diseño preliminar de presas fáciles de colapsar

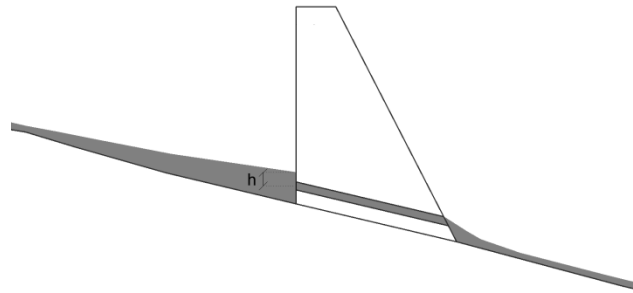
Represas temporales de agua se forman a lo largo de los trayectos en las áreas volcánicas, cuando estas son bloqueadas por los deslizamientos constituidos por depósitos volcánicos.

La causa más frecuente de disolución de tales depósitos naturales es la fuga impetuosa de agua, que se ha acumulado debido a un aluvión, que actúa como una presa, y después la posterior erosión y la rápida movilización de escombros volcánicos. El colapso de la presa puede ocurrir por deslizamiento o vuelco. La



erosión de la presa y que fluye hacia abajo a lo largo de la trayectoria, la ola inicial de agua incorpora una cantidad peligrosa de sedimento. Esto puede producir un lahar con efectos también devastadores para los asentamientos poblacionales a lo largo de su recorrido (Leung et al., 2003).

Pueden ser diseñados y construidos a bajo costo las presas con material de relleno locales con comportamientos similares a los descritos anteriormente, pero controlados a través de canales de escape, como para permitir la salida de agua en el caso de eventos regulares de lluvia (ver figura 2).



**Figura 2.**

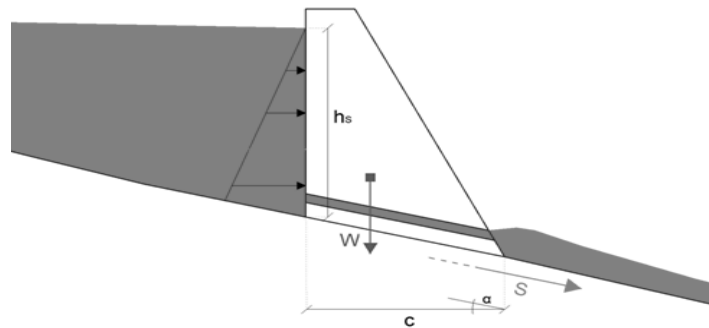
Construcción de una presa fácil de colapsar con canales de escape

**Fuente:**(Chidichimo et al., 2017)

Esto se consigue dimensionando adecuadamente un canal de descarga en la base de la presa mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$Q = \mu A \sqrt{2gh} \tag{1}$$

donde  $Q$  es el caudal estimado de acuerdo a un modelo de entrada/salida de flujo, teniendo en cuenta el régimen regular de las lluvias registradas en el tiempo;  $\mu \approx 0,81$  es el coeficiente de la afluencia del canal,  $A$  es la área de la sección del canal,  $g$  es la aceleración de la gravedad,  $h$  es el nivel de agua por encima del centro de la sección transversal del canal. En caso de intensas precipitaciones, el canal de descarga ya no es capaz de drenar el agua, causando el incremento deseado en el nivel del agua. Cuando la flotabilidad se vuelve significativa, la presa se derrumba por dos razones principales: deslizamiento o vuelco (Figura 3 y 4).



**Figura 3.**

Condiciones de colapso de la presa: por desplazamiento

**Fuente:** (Chidichimo et al., 2017)

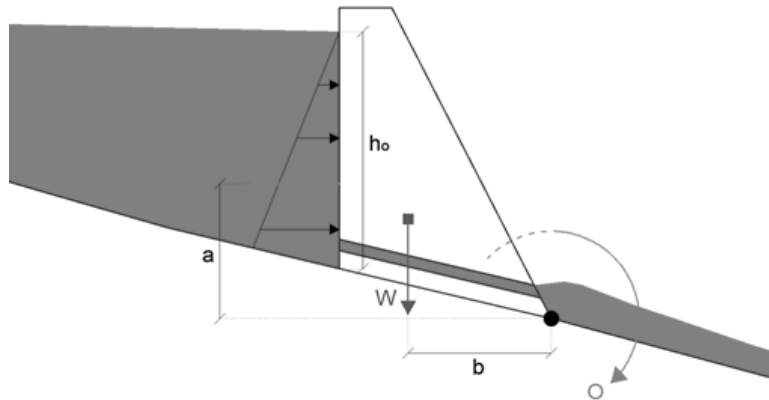
En la presa, la fuerza de desplazamiento  $S$  (figura 3) es producida por la componente del empuje hidrostático en paralelo a la pendiente del terreno

$$S = B_{par}(h_s) \quad (2)$$

Esta fuerza es equilibrada por otra opuesta definida por:

$$W \times \tan \delta + (C_a \times c / \cos \alpha) \geq B_{par} \quad (3)$$

donde  $W$  es el peso de la presa,  $\tan \delta$  es el coeficiente de fricción,  $C_a$  es la adherencia,  $c$  es el espesor de la base de presa,  $\alpha$  el ángulo de la pendiente.



**Figura 4.**

Condiciones de colapso de la presa: por vuelco

Fuente: (Chidichimo et al., 2017)

En la presa, el momento angular de vuelco  $O$  (figura 4) se produce por el siguiente impulso angular  $O = B \times a$  donde  $B(h_0)$  es la presión hidrostática y  $a$  es la distancia entre  $B$  y el centro de rotación. Este momento angular es equilibrado por otro que gira en la dirección opuesta:  $B \times b \geq W \times a$  donde  $W$  es el peso de la presa.

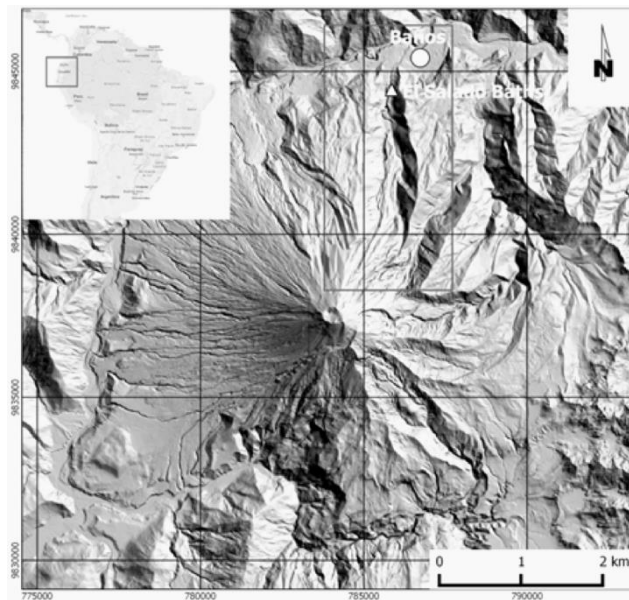
La presa debe estar diseñada para colapsar en un nivel fijado de agua, que es el valor mínimo entre la altura crítica de vuelco y aquella de desplazamiento:  $h^* = \min(h_0, h_s)$  Una vez que el nivel de agua está cerca de  $h^*$  con un margen de tolerancia establecido, deben dar las condiciones de pre alarma.

### Resultados e hipótesis preliminares y discusión

LLUNPIY (término que proviene de la palabra Kichwa *llunpi* y que significa inundación), fundamentado en el enfoque semi empírico de ACM propuesto por Di Gregorio y Serra (D Di Gregorio y Serra, 1999) para fenómenos macroscópicos, es un modelo que tiene la finalidad de simular la dinámica y comportamiento complejo de los lahares a partir de la primera fase (fusión de los glaciares, el colapso de las cuencas de agua en la proximidad del cráter durante una erupción) para los lahares primarios (Machado et al, 2015b) y de la movilización de sedimento volcánico no consolidado que puede ser fácilmente erosionado por las corrientes de agua superficial cuya magnitud de las áreas de inundación y el alcance de un lahar dependerán fuertemente de su volumen tanto de agua como del material movilizado, transformaciones durante los flujos y la

morfología, debido a lluvias excepcionales o por una gran cantidad de agua disponible fuera de una erupción, esto en caso de lahares secundarios, hasta la etapa final de depósito en zonas bajas (Machado et al. 2015a).

Los resultados de las simulaciones del modelo LLUNPIY demuestran que las opciones de modelado, permitidas por las propiedades de los Autómatas Celulares, posibilitan tomar en cuenta más procesos (por ejemplo, el de erosión), aspectos fundamentales que no son considerados en otros modelos (Machado et al. 2015a, 2015b). Por lo tanto, LLUNPIY amplía la potencialidad del análisis y desarrollo de posibles escenarios en aplicaciones que requieren simulaciones por ordenador de eventos de lahares reales o hipotetizados. LLUNPIY fue validado a través de las simulaciones de tres diferentes eventos seleccionados: los lahares secundarios ocurridos en el volcán Tungurahua tanto en el 2005 como en el 2008 (Machado et al. 2015b).



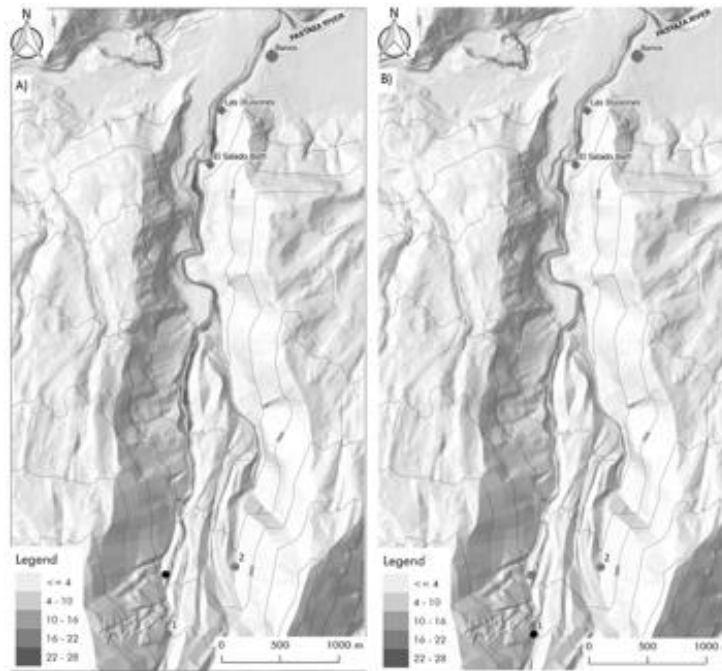
**Figura 5.**

Volcán Tungurahua. El Valle Vascún está dentro del recuadro rojo

**Fuente:** (Machado et al. 2015)

En la misma región (ver recuadro rojo, figura 5) han sido formuladas algunas hipótesis preliminares para simular con LLUNPIY el efecto del colapso de embalses temporales de agua temporales para diversos escenarios. Tres puntos propicios (1, 2, 3 en la figura 6) han sido identificados para la colocación de las presas con el fin de generar las cuencas o embalses temporales de agua. Se consideraron varios escenarios posibles: disparadores de lahares simultáneos o diferentes en el tiempo desde los tres puntos, desde cada combinación de dos puntos y desde un único punto (Chidichimo et al., 2017).

En este caso, se tiene la información de dos escenarios interesantes: el desencadenante simultáneo de los puntos 1 y 2 (figura 6A) y por los puntos 2 y 3 (figura 6 B). El espesor máximo de lahar en el primer escenario es de 27 m., mientras que un valor menor de 21 m. Viene dado en el segundo escenario. Aunque la confluencia de los dos lahares en el río Pastaza es simultáneo en el segundo caso y el pico de ambos lahares se produce simultáneamente en la confluencia, la altura de la lahar resultante es menor en casi todas partes en comparación con el primer escenario, porque una masa mucho más grande era inesperadamente erosionada en la primera parte de la ruta desde el punto 1.



**Figura 6.**

Desencadenante simultáneo de lahares: A partir de los puntos 1 y 2 (A), y los puntos 1 y 3 (B)

**Fuente:** (Chidichimo et al., 2017)

Estos resultados son sólo preliminares, ya que se debe hacer un análisis adecuado de su ubicación geográfica de los puntos y sus características, además, la simulaciones realizadas fueron limitadas tanto por los pocos datos de entrada que se consideraron, así como la falta de estudio en lo que respecta a las medidas de creación de infraestructuras donde incluyen una amplia variedad de técnicas más sofisticadas y así obtener la modelización y simulación potente a la hora de predecir la trayectoria más probable en unas condiciones determinadas, así como las áreas de inundación resultantes y los parámetros de diseño y construcción de muros.

### **Conclusión**

Proponemos para la reducción del riesgo una generación controlada de pequeños lahares por colapso de pequeños embalses temporales. La construcción de presas adecuadamente inestables con materiales de relleno locales fácilmente le permite programar la ruptura, regulando el nivel del agua.

Esta propuesta está fuera de los estándares habituales, y se basa sobre las observaciones y el estudio de situaciones favorables conjuntamente con el uso de modelos de simulación robustos y bien validados.

Los estudios de viabilidad han confirmado las hipótesis precedentes de construcción de presas inestable en la acumulación de agua lluvia con un ahorro significativo de costos. Situaciones inesperadas (y a veces peligrosas) han sido evidenciadas por los resultados de las simulaciones.

## Agradecimiento

Los autores agradecen a muchos investigadores científicos por la colaboración e información útil, consejos y comentarios de marero particular a los doctores Chidichimo F. y Straface S. por su gran aporte. También expresar una gratitud imperecedera a la Universidad Nacional de Chimborazo, de manera especial al Grupo de Investigaciones en Modelamiento y Simulación “ModSim”, Universidad de la Calabria, Italia y a la Secretaria de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, Senescyt.

## Referencias

- Avolio, M.V., Lupiano, V., Mazzanti, P., & Di Gregorio, S. (2008). Modelling combined subaerialsubaqueous flow-like landslides by Cellular Automata. In: Umeo, H., Morishita, S., Nishinari, K., Komatsuzaki, T., Bandini, S. (eds.) *ACR LNCS, 5191*, pp. 329–336. Springer, Heidelberg.
- Avolio M.V., Di Gregorio S., Lupiano V., Mazzanti P., & Spataro W. (2010). Application context of the SCIDDICA model family for simulations of flow-like landslides. In: *Proceedings of the 2010 international conference on scientific computing*, Las Vegas (USA), pp 40–46. CSREA Press.
- Avolio, M.V., Crisci, G.M., Di Gregorio, S., Rongo, R., Spataro, W., & Trunfio, G.A. (2006). SCIARA γ 2: an improved Cellular Automata model for Lava Flows and Applications to the 2002 Etnean crisis. *Computers & Geosciences* 32, pp. 897–911.
- Barclay, J., Alexander, J., & Susnik, J. (2007). Rainfall-induced lahars in the Belham Valley, Montserrat, West Indies. *Journal of the Geological Society London* 164, pp. 815–827.
- Chidichimo F., Di Gregorio S., Lupiano V., Machado G., Molina L., & Straface S. (2017). Learning from nature: favoring small lahars formation for hazard mitigation. Ed. by Fiorani et al., *ENEA Proceedings of the international meeting Relationality: between environmental awareness and societal challenges*. Budapest (Hungary) 27-29 May, 2016 pp. 87-90.
- Costa, J.E. (2004). Hydraulic modeling for lahar hazards at cascades volcanoes. *Environmental and Engineering Geosciences* 4, pp.21–30
- D’Ambrosio, D., Di Gregorio, S., Gabriele, S., & Gaudio, R. (2001). A cellular automata model for soil erosion by water. *Physics and Chemistry of the Earth, EGS, Part B* 26(1), pp.33–39.
- Di Gregorio, S., & Serra, R. (1999). An empirical method for modelling and simulating some complex macroscopic phenomena by cellular automata. Future Generation. *Computer Systems* 16(2/3), pp.259–271.
- Leung M.F., Santos J.R., & Haimes Y.Y. (2003). Risk modeling, assessment, and management of lahar flow threat. *Risk Analysis*, 23 (6), pp. 1323-1335.
- Machado G., Lupiano V., Avolio M.V., Gullace F., & Di Gregorio S. (2015a). A cellular model for secondary lahars and simulation of cases in the Vascún Valley, Ecuador. *Journal of Computational Science*, 11, pp. 289-299.

Machado G., Lupiano V., Crisci G.M, & Di Gregorio S. (2015b). *LLUNPIY Preliminary Extension for Simulating Primary Lahars. SIMULTECH 2015*. Proceedings of 5th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications, 21 – 23 July 2015, Colmar, Alsace, France pp. pp.367–376.

Major, J.J., & Newhall, C.G. (1989). Snow and ice perturbation during historical volcanic eruption and the formation of lahars and floods. A global review. *Bulletin of Volcanology* 52, pp.1-27.

Munñoz Salinas, E. (2007). *Los lahares del Popocatépetl: obtención y tratamiento de la información para la prevención de riesgos*. Tesis doctoral.

Pierson T.C., Janda R.J., Umbal J.V., & Daag, A.S. (1992). Immediate and long-term hazards from lahars and excess sedimentation in rivers draining Mt. Pinatubo, Philippines. *US Geological Survey Water-Resources Investigations Re-port*, 92, p.4039.

# Diseño de un modelo de gestión integral de mantenimiento hospitalario

**Luis López Telenchana**

ASEINMA

inglopezluis@hotmail.com

**Tania Berrezueta Espín**

ASEINMA

taniakarinate@hotmail.com

## Resumen

El objetivo de la investigación fue diseñar e implementar un Modelo de Gestión Integral de Mantenimiento en el Hospital Básico N° 11 BCB “Galápagos”, para lo cual se desarrolló un sistema de evaluación cuantitativa inicial de la Gestión de Mantenimiento con la finalidad de conocer la realidad, problemática y alcance del Mantenimiento en esta casa de salud, además ayuda a establecer las mejoras alcanzables para el departamento de mantenimiento del hospital. Como resultado de esta investigación, se diseñó un Modelo Integral de Mantenimiento Hospitalario basado en ocho pilares de gestión y que contempla las exigencias del “Estatuto Orgánico de Gestión Organizacional por Procesos de los Hospitales” del Ministerio de Salud Pública, por lo que se convierte en un modelo de evaluación referencial para el Ministerio en el proceso de Acreditación de las casas de salud del Ecuador. El diseño de este modelo de gestión integral de mantenimiento nos permite evaluar, medir, controlar y mejorar las actividades, estrategias y técnicas, inherentes a la función de mantenimiento, a fin de aumentar los niveles de confiabilidad de los equipos e instalaciones que conforman los sistemas de apoyo del área operativa del hospital.

**Palabras claves:** Gestión de mantenimiento, Modelo integral, Mantenimiento hospitalario, Estatuto orgánico.

## Abstract

The objective of the research was to design and implement a Comprehensive Maintenance Management Model in the BCB "Galapagos" Basic Hospital No. 11, for which an initial qualitative and quantitative evaluation system of the Maintenance Management was developed with the purpose of To know the reality, problematic and scope of the Maintenance in this house of health, in addition it helped us to establish the attainable improvements for the department of maintenance of the hospital. As a result of this research, an Integral Hospital Maintenance Model was designed based on eight pillars of management and that contemplates the requirements of the "Organic Statute of Organizational Management by Processes of Hospitals" of the Ministry of Public Health, by which it becomes a Model of reference evaluation for the Ministry in the process of Accreditation of the houses of health of Ecuador. The design of this comprehensive maintenance management model allows us to evaluate, measure, control and improve the activities, strategies and techniques, inherent to the maintenance function, in order to increase the reliability levels of the equipment and installations that make up the systems of support of the operating area of the hospital.

**Keywords:** Management of maintenance, Integral model, Hospital maintenance, Organic status.

## **Introducción**

### **Introducción al problema**

La presente investigación tiene como finalidad diseñar e implementar un modelo de gestión integral de mantenimiento para el Hospital Básico N° 11 BCB "Galápagos", aportando con soluciones a los problemas de mantenimiento detectados en esta casa de salud que no han sido resueltos por diferentes factores, y que se volvieron evidentes con el paso del tiempo y la falta de una adecuada gestión de mantenimiento hospitalario. Además, la investigación tomó en cuenta los requisitos exigidos por el "Estatuto Orgánico de Gestión Organizacional por Procesos de los Hospitales" del Ministerio de Salud Pública, con la finalidad de ser un estudio válido para la Acreditación del hospital, plantea también un cambio en la estructura organizacional del departamento de mantenimiento y se acopla a un sistema de mejora continua para garantizar la eficiencia y la eficacia del mantenimiento en equipos biomédicos.

### **Importancia del problema**

El desarrollo e implementación de un modelo real y factible para la gestión integral del mantenimiento, se ha convertido en un tema de investigación y discusión que busca alcanzar un buen desempeño en la gestión de mantenimiento, cuyas metas estén alineados al cumplimiento de los objetivos de la institución. Es por esto que en el campo de Salud, el modelo de gestión integral de mantenimiento garantiza la eficiencia y la eficacia en el servicio prestado tanto a los usuarios externos como a los usuarios internos.

La falta de actualización e implementación de un modelo integral de mantenimiento que refleje las múltiples necesidades del Hospital Básico N° 11 BCB "Galápagos" ha creado una proyección errónea de recursos económicos que necesita el departamento de mantenimiento, lo que ha ocasionado incumplimiento de las tareas y trabajos de mantenimiento por falta de repuestos, materiales y herramientas en bodega, es por esto que el modelo de gestión integral se convierte en la herramienta ideal para evidenciar y solucionar las múltiples necesidades ocasionadas por la utilización y manipulación de los activos biomédicos de la casa de salud.

El diseño del modelo de gestión integral de mantenimiento para el Hospital Básico N° 11 BCB "Galápagos" aporta de manera sustantiva a las relaciones interinstitucionales porque involucra a todos los departamentos de la casa de salud que tienen injerencia total o parcial con la gestión de mantenimiento, de allí la importancia de consolidar el equipo evaluador como primer paso, después de consolidar el equipo se realiza una evaluación inicial, que establece las metas a corto y largo plazo que se pueden conseguir, mediante la aplicación de estrategias que buscan el fortalecimiento institucional y velan por un servicio eficiente.

Una vez realizada la evolución inicial, se analiza la brecha entre lo alcanzado y lo exigido por normas o requerimientos del ente regulador, en este caso el Ministerio de Salud Pública, con esta información real se implementa el análisis FODA con el cual se establecen las estrategias y acciones que permitan llegar a los estándares exigidos y se pueda conseguir la acreditación del hospital. El modelo de gestión integral plantea la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo en donde se detalla cada activo biomédico y se plantea una programación que garantiza la disponibilidad y confiabilidad de los equipos biomédico, lo que genera una base de datos que refleja las verdaderas necesidades de la casa de salud y ayuda a establecer el presupuesto necesario para el departamento de mantenimiento.

La falta de evaluación continua del sistema de gestión de mantenimiento, así como la metodología para comparar el avance del departamento de mantenimiento en el hospital generan falta de apoyo de los demás departamentos, así como el desarrollo de nuevos procedimientos y el cumplimiento de más objetivos, es por esto que el diseño de un modelo de gestión integral de mantenimiento hospitalario desarrollado en esta



investigación plantea indicadores que reflejan el progreso paulatino conseguido con la implementación de las estrategias, plantea también un sistema de comparación cuantitativa y estadística, consiguiendo con ello un proceso de mejora continua que busca el fortalecimiento del departamento de mantenimiento en el hospital y alcanzar nuevas metas que garantizan la eficiencia y la eficacia en el servicio de salud ofertado.

### Resultados

El modelo diseñado surge de la necesidad de contemplar en la Gestión de Mantenimiento el contexto estratégico y operacional existente. Esto se consigue atendiendo a una serie de aspectos reales, que no fueron contemplados en otros modelos, que son necesarios para convertir un Modelo Teórico en un Modelo Real de Gestión del Mantenimiento Integral. Así, a continuación, se describen los resultados:

#### Conformación del equipo evaluador

La primera actividad que se realizó es la conformación el equipo natural de trabajo con la finalidad de contar con un equipo de experiencia y conocimiento sobre la gestión de mantenimiento y los procesos administrativos del Hospital Básico N° 11 BCB "Galápagos". Se realizaron varias reuniones a lo largo del proceso investigativo en las que se abordaron inquietudes y demás temas de mucha utilidad para un correcto diseño y una exitosa implementación. El equipo estuvo conformado el tutor técnico y metodológico y los responsables departamentales y el director quienes fueron los enlaces en el hospital.

#### Evaluación inicial del sistema actual de la gestión de mantenimiento basada en la Norma COVENIN 2500-93

A continuación se describe la evaluación de la situación actual de la Gestión de Mantenimiento aplicada a los equipos biomédicos del Hospital Básico N° 11 BCB "Galápagos", utilizando para diagnosticar la gestión de mantenimiento la Norma COVENIN 2500-93, a partir de los resultados encontrados se realiza un análisis con la matriz FODA, que permita establecer las estrategias fundamentales para definir las metas a alcanzar con el diseño del sistema de gestión de mantenimiento propuesto.

	Área	Puntuación	Puntuación obtenida	%	Calificación
I	Org. de la empresa	150	140	93	Excelente
II	Org. De Mantto	200	150	75	Regular
III	Planific. De Mantto	200	85	43	Mejorable
IV	Mantto. Rutinario	250	130	52	Mejorable
V	Matto Prrgramado	250	125	50	Mejorable
VI	Mtto. Circunstancial	250	90	36	Mejorable
VII	Mtto. Correctivo	250	90	36	Grave
VIII	Mantto. Correctivo	250	30	12	Grave
IX	Mantto . por Avería	250	125	50	Mejorable
X	Personal de Mantto	200	60	30	Grave
XI	Apoyo logístico	100	40	40	Grave
XII	Recursos	150	65	43	Mejorable
			1130	45,2	Mejorable

Evaluación inicial

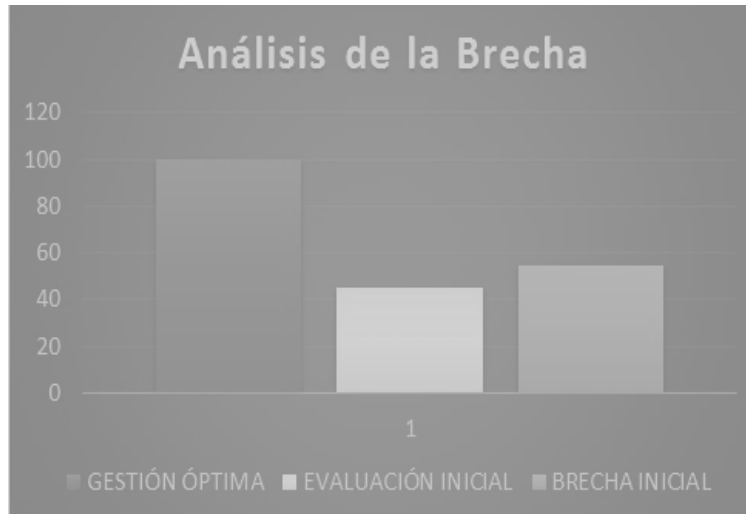
**Figura 1.**

Evaluación inicial de la Gestión de Mantenimiento en el Hospital

**Fuente:** Autores

### **Análisis de Brecha**

Analizando el porcentaje global obtenido de la evaluación realizada a las áreas, el cual fue de un 45.2% según a lo que se cumple por lo exigido en la Norma COVENIN 2500-93, deja en manifiesto que existe una brecha de 54.8% con respecto a lo que se desea obtener o alcanzar. El porcentaje de brecha obtenido da a demostrar que el departamento de mantenimiento del hospital posee un Sistema de Gestión de Mantenimiento que presenta fallas, debilidades y un rendimiento por debajo de lo deseado por el Ministerio de Salud Pública.



**Figura 2.**  
Análisis de la brecha  
**Fuente:** Autores

### **Análisis FODA aplicado a la evaluación del sistema actual de gestión de mantenimiento del hospital**

Se procederá a realizar mediante la Herramienta FODA un análisis que combina el interior del Sistema de Gestión del departamento de mantenimiento (Fortalezas y Debilidades), con las fuerzas externas (Oportunidades y Amenazas) que se presentan, para luego constituir las estrategias y acciones que se deben llevar a cabo como plan de acción para adecuar y solucionar los problemas de la gestión de mantenimiento actual, y lo requerido por la Norma COVENIN 2500-93 y el Ministerio de Salud Pública.

### **Factores Estratégicos de la función de Mantenimiento**

Se desarrollaron y establecieron los factores estratégicos para la función de mantenimiento, que permitan dar una identidad propia al departamento en el hospital, así:

#### **Visión de la función de mantenimiento**

“Ser un departamento líder en la optimización de los recursos tanto tecnológicos y de infraestructura biomédica, comprometidos en el mejoramiento de los procesos clínicos hospitalarios, a fin de garantizar la calidad en el servicio de salud, tanto para los usuarios internos y externos”.

#### **Misión de la función de mantenimiento**

“Garantizar el funcionamiento óptimo, permanente y seguro, de los equipos biomédicos, sistemas tecnológicos hospitalarios y equipamiento para contribuir al cumplimiento de la Misión del Hospital, a través de una gestión eficiente y eficaz, para lo cual se dotará de los recursos necesarios para lograrlo”.

### Objetivos de la función de mantenimiento

Se determina que el objetivo funcional de la función de mantenimiento es: Planificar, elaborar y ejecutar programas de mantenimiento preventivo que aseguren una adecuada disponibilidad y confiabilidad de los sistemas de apoyo del área operativa del centro, edificios e instalaciones inherentes al proceso hospitalario, con el fin de cumplir con los planes establecidos y las exigencias gubernamentales solicitadas.

Para mantener la confiabilidad y disponibilidad de los equipos biomédicos del hospital, de tal manera que se pueda cumplir la vida útil de los mismos, obteniendo el mayor rendimiento, se deben aplicar los siguientes objetivos:

1. Asegurar la mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad de los equipos biomédicos del hospital.
2. Garantizar la seguridad del personal, instalaciones y equipos.
3. Optimizar el tiempo y el costo de ejecución de las actividades de mantenimiento.
4. Reducir al mínimo el número de fallas.
5. Optimizar los recursos financieros, materiales y el talento humano.
6. Evitar accidentes en las distintas áreas del hospital.
7. Maximizar la seguridad en las operaciones de mantenimiento hospitalario.
8. Minimizar los riesgos ambientales del personal e infraestructura física del hospital.
9. Cumplir la vida útil de los equipos biomédicos.

### Implementación del modelo de gestión integral de mantenimiento hospitalario

A la hora de la implementación se debe aplicar las estrategias establecidas en el estudio FO-DO-FA-DA con la finalidad de potencializar la gestión de mantenimiento en el hospital, de esta manera asegurar índices superiores de mantenimiento adecuados.

### Elaboración de los planes de mantenimiento preventivo los requerimientos del Estatuto Orgánico por Procesos Organizacionales del Ministerio de Salud Pública

Para la elaboración del plan de mantenimiento se toma en cuenta las exigencias estipuladas en el Estatuto Orgánico del Ministerio de Salud Pública. Cabe recalcar, que este diseño cuenta con un análisis de costos de mantenimiento, mismo que fue aprobado por el Conjunto de las Fuerzas Armadas y que será elevado al Portal de Compras Públicas, para realizar el proceso de designación ya sea por ínfima cuantía o menor cuantía.

DESCRIPCIÓN	MANTENIMIENTO DE LA DOTACION	PPTO
EQUIPO BIOMEDICO	Equipos médicos en general, para el servicio urgencias, hospitalización odontológicos y de laboratorio.	\$ 48.000,00
EQUIPO DE COMUNICACIÓN E INFORMATICA	Equipos de computo, centrales telefónicas. Equipos de radiocomunicaciones, equipos para el procesamiento, reproducción y transcripción de información, todos aquellos que conformen el sistema de información hospitalario, otros equipos de comunicación e informática.	\$ 24.000,00
MUEBLES PARA USO ADMINISTRATIVO Y ASISTENCIAL	Se incluyen las camillas, las camas hospitalarias, los escritorios, los armarios, las camas, carros medicamentos, los muebles de las salas de espera entre otros.	\$ 12.000,00
	Subtotal	\$ 132.000,00
TOTAL PLAN MANTENIMIENTO 2017		\$ 182.000,00

**Figura 3.**

Análisis económico de mantenimiento preventivo del hospital

**Fuente:** Los Autores

### Definir los indicadores para verificar y controlar la Gestión de Mantenimiento Hospitalario

Se realizó una investigación de los indicadores de Mantenimiento que servirían de apoyo y utilidad al Sistema de Gestión Integral de Mantenimiento, para verificar y controlar el comportamiento y la efectividad de los elementos involucrados en la Gestión (Recurso humano, equipos y maquinarias, materiales y repuestos, tiempo y costos). A continuación describimos dos de estos indicadores:

- **Tiempo Medio Para Reparar (TMPR)**

- Este indicador nos da una idea aproximada del tiempo promedio que se demora en ejecutar el mantenimiento del equipo tras una falla (mantenimiento correctivo).

$$TMPR = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \text{Horas det enido por correctivos,}}{\text{Cantidad de OT Correctivas}}$$

- **Tiempo medio entre fallas**

- Este indicador nos permite detectar necesidades de actuar con mantenimiento preventivo.

De su evaluación podemos detectar necesidades de aplicar mejores prácticas de Mantenimiento.

$$TMEF = \frac{\sum \text{horas de marcha de los equipo en el período}}{\text{cantidad de fallas de ese grupo de equipos}}$$

### Comparación de las evaluaciones de la gestión del mantenimiento antes y después de la implementación del sistema de gestión

Para comparar los resultados después de la implementación del sistema de gestión integral de mantenimiento, utilizamos el mismo procedimiento cuantitativo realizado para evaluar la gestión de mantenimiento inicial. La evaluación después de la implementación del modelo de gestión integral verificó la hipótesis planteada al comienzo de esta investigación.

	Área	Puntuación	Puntuación obtenida	%	Calificación	Puntuación obtenida	%	Calificación
I	Org. de la empresa	150	140	93	Excelente	141	94	Excelente
II	Org. De Mantto	200	150	75	Regular	165	82,5	Bueno
III	Planific. De Mantto	200	85	43	Mejorable	166	83	Bueno
IV	Mantto. Rutinario	250	130	52	Mejorable	210	84	Bueno
V	Matto Prrgramado	250	125	50	Mejorable	200	80	Regular
VI	Mtto. Circunstancial	250	90	36	Mejorable	210	84	Bueno
VII	Mtto. Correctivo	250	90	36	Grave	200	80	Regular
VIII	Mantto. Correctivo	250	30	12	Grave	240	96	Excelente
IX	Mantto. por Avería	250	125	50	Mejorable	210	84	Bueno
X	Personal de Mantto	200	60	30	Grave	160	80	Regular
XI	Apoyo logístico	100	40	40	Grave	86	86	Bueno
XII	Recursos	150	65	43	Mejorable	141	94	Excelente
			1130	45,2	Mejorable	2129	85,16	Bueno
			Evaluación inicial			Evaluación Final		

**Figura 4.**

Comparación cuantitativa de la implementación del modelo de gestión integral de mantenimiento preventivo del hospital

**Fuente:** Autores

## Discusión

Para analizar los resultados obtenidos, se plantea compara estadísticamente las evaluaciones a los sistemas de gestión antes y después de la implementación del modelo integral, así:

### Comparación estadística de las evaluaciones antes y después de la aplicación del método

Para aceptar la Hipótesis planteada en la investigación recurrimos a la herramienta estadística T Student Muestras Relacionadas, con la finalidad de conocer si el modelo implementado dio los resultados esperados.

### Redactar la Hipótesis

Existirá una diferencia significativa entre las evaluaciones iniciales (pre-test) de la gestión de mantenimiento en el hospital y las evaluaciones finales (post-test) después de la implementación del modelo.

H0= No hay diferencia significativa entre la evaluación inicial y final

H1= Hay una diferencia significativa entre la evaluación inicial y final

### 1. Definir $\alpha$

Alfa=0.05=5%

### 2. Selección de la prueba

## Objetivo comparativo

Variable fija/ Variable aleatoria		Pruebas no paramétricas			Pruebas Paramétricas
		Nominal dicotómica	Nominal Politómica	Ordinal	Numérica
Estudio transversal Muestras independiente	Un grupo	X <sup>2</sup> bondad de ajuste Binominal	X <sup>2</sup> bondad de ajuste	X <sup>2</sup> bondad de ajuste	T de student (Una muestra)
	Dos grupo	X <sup>2</sup> bondad de ajuste corrección de Yates Test exacto de Fisher	X <sup>2</sup> de homogeneidad	U Mann-Whitney	T de student (Una muestra independiente)
	Mas de dos grupos	X <sup>2</sup> bondad de ajuste	X <sup>2</sup> bondad de ajuste	H Kruskal Walls	ANOVA con un factor intersujetos
Estudio Longitudinal	Dos medidas	Mc Nemar	Q de Cochran	Wilcoxon	T de student (muestra relacionadas)
Muestras relacionadas	Mas de dos medidas	Q de Cochran	Q de Cochran	Friedman	ANOVA para medidas repetidas (INTRASUJETOS)

**Figura 5.**

Modelo de selección de estudio estadístico

**Fuente:** L. Espín. "Pruebas estadísticas para hipótesis"

### Calcular P-valor

Normalidad

Chapiro Wilk: Muestras pequeñas (menos de 30 evaluaciones)

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Ev.inicial	,196	12	,200*	,940	12	,499
Ev.final	,203	12	,184	,933	12	,414

**Figura 6.**

Prueba estadística de normalidad

**Fuente:** Autores

P-valor (Evaluación Inicial)  $0.499 > \alpha = 0.05$

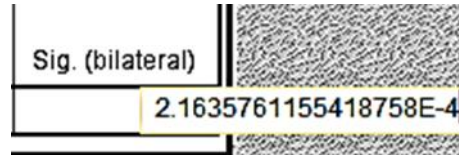
P-valor (Evaluación Final)  $0.414 > \alpha = 0.05$

**Criterio para aceptar la normalidad:**

P-valor >  $\alpha$  H0= Los datos provienen de una distribución normal.

**Decisión Estadística**

		Prueba de muestras relacionadas							
		Diferencias relacionadas							
		Media	Desviación tip.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	EV.INICIAL - EV.FINAL	-83,25000	53,39582	15,41405	-117,17609	-49,32391	-5,401	11	,000



*Figura 7.*

Prueba estadística de muestras relacionadas

**Fuente:** Autores

P-valor 0.000216 <  $\alpha=0.05$

Hay una diferencia significativa entre las evaluaciones iniciales y las realizadas después de la implementación, por lo que se puede establecer que la implementación del modelo de gestión integral de mantenimiento diseñado SI tiene efectos significativos sobre la evaluación de la Gestión del Mantenimiento en el Hospital.

**Conclusiones**

Se evaluó el Sistema de Gestión de Mantenimiento del Hospital Básico N° 11 BCB "Galápagos", haciendo uso de la Norma COVENIN 2500-93 "Manual para Evaluar los Sistemas de Mantenimiento en la Industria", donde se pudo conocer que el Sistema de Gestión presenta un cumplimiento del 45.2% debido a las deficiencias que el departamento de mantenimiento posee, reflejando que los aspectos de menor cumplimiento están en: La planificación y control de la ejecución del mantenimiento preventivo, deficiencia en el personal que labora los mantenimientos en cuanto a sus conocimientos y motivación para cuidar los activos de la empresa, poco apoyo a nivel direccional para aprobar aquellas acciones de inversión que permita llevar a cabo los mantenimientos de forma eficiente, no se cuenta con los equipos, herramientas y materiales suficientes para operar los mantenimientos de forma óptima.

Mediante la herramienta FODA, se realizó un análisis a los resultados obtenidos en la evaluación de la Norma COVENIN 2500-93 al Sistema de Gestión de Mantenimiento, permitiendo determinar las Fortalezas, Debilidades, las Amenazas y Oportunidades que se presentan en la gestión de mantenimiento, lo que dio lugar a desarrollar y establecer las estrategias a implementar con el fin de alcanzar los objetivos planteados.

La investigación permitió determinar la brecha que existe entre la situación actual y lo que se quiere alcanzar según el Estatuto Orgánico del Ministerio de Salud, la cual fue de 54.8% estableciendo las estrategias necesarias que fueron implementadas para reducir los valores de la brecha, brindando una optimización a la Gestión de Mantenimiento, aumentando de esta manera la eficiencia y la eficacia del mantenimiento en equipos biomédicos.

Para mejorar el control de la Gestión de Mantenimiento, se establecieron indicadores para los activos biomédicos que conforman las diferentes áreas del hospital, los cuales deben ser calculados periódicamente mediante la adecuada y eficiente aplicación de sus procedimientos, para que puedan cumplir la función de control y evaluación.

Posteriormente se hizo un análisis del impacto que tendrá el hospital al poner en marcha las acciones y estrategias propuestas como mejora para optimizar al Sistema de Gestión de Mantenimiento, se establecieron acciones a seguir, así como también los resultados de la implementación del Modelo de Gestión Integral de Mantenimiento, comprobando de esta manera la hipótesis planteada al inicio de esta investigación.

### **Agradecimiento**

Agradecemos a los directivos y trabajadores del Hospital Básico N° 11 BCB "Galápagos", quienes nos dieron las facilidades para desarrollar nuestro tema de investigación, así como a los profesionales de ASEINMA quienes con sus observaciones y consejos ayudaron a el mejoramiento de nuestra investigación, finalmente agradecemos a nuestras familias por la paciencia mostrada a lo largo de la investigación y comprender las noches de desvelo y los fines de semana que ocupamos en el perfeccionamiento de la presente investigación.

### **Referencias**

- Acosta, H. (2011). Auditoría integral de mantenimiento en instalaciones hospitalarias, un análisis objetivo. *SciELO Cuba [en línea], (Cuba) 14(2)*, p. 108. ISSN 1815-5944. Recuperado de: <http://scielo.sld.cu/pdf/im/v14n2/im03211.pdf>
- Aratá, Adolfo & Crespo Marquéz, Adolfo (2005). *Manual de gestión de activos y mantenimiento*. Santiago de Chile, Chile: Ril Editores, p. 924.
- Boero, C. (2006). *Mantenimiento industrial*. 2ª ed. Córdoba, Argentina: Jorge Sarmiento Editor, pp. 30-31.
- Castañeda, Jorge. (2009). *Plan de mantenimiento preventivo del equipamiento biomédico [en línea]. Metodología para inclusión de equipos biomédicos en el programa de mantenimiento preventivo*. Recuperado de <http://www.hospitalsjl.gob.pe/ArchivosDescarga/ServiciosGenerales/2009/PlanMantenimiento.pdf>
- COVENIN 2500-93. *Manual. Evaluación de sistemas de mantenimiento. Parte 3: Procedimiento de evaluación*.
- Crespo, A. (2007). *Models and methods for complex systems maintenance. The maintenance management framework*. 1ª ed. Londres, Reino Unido: Springer Verlag, p. 333.
- Gallará, Iván & Pontelli, Daniel (2005). *Mantenimiento industrial*. Córdoba, Argentina: Ed. Universitas, p. 37.
- García, O. (2007). *Gestión integral del mantenimiento basada en confiabilidad [en línea]*. Boyacá: Reliabilityweb, Recuperado de: <http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/gestion-integral-de-mantenimiento-basada-en-confiabilidad>
- García, O. (2012). *Gestión moderna del mantenimiento industrial: Principios fundamentales*. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U, pp. 186-187.
- García, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Madrid, España: Díaz de Santos, pp. 99-100.



González, C. A. (2006). *Manual de mantenimiento de los servicios de salud: instalaciones y bienes de equipos*. Washington, Estados Unidos: Paltex, pp. 4-5.

ISO 9001 (2008). *Requisitos. Sistemas de Gestión de Calidad. Parte 4: Sistemas de Gestión de Calidad*.

Jiménez, R. (2004). Indicadores de calidad y eficiencia de los servicios hospitalarios. Una mirada actual. *SciELO Cuba [en línea]*, (Cuba) 30(1), p. 12. ISSN 0864-3466. Recuperado de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-34662004000100004](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662004000100004)

Kans, M. (2008). *An approach for determining the requirements of computerized maintenance management systems*. Växjö-Suecia: Issue 1, pp. 32-40.

Lorenzo, Susana & Moracho, Oscar (2013). *La gestión por procesos en instituciones sanitarias* [en línea]. Alicante, España: Calité. Recuperado de: [http://calite.umh.es/data/docs/110/Gestion\\_procesos.pdf](http://calite.umh.es/data/docs/110/Gestion_procesos.pdf)

Organización Mundial de la Salud (2012). Dispositivos médicos. En: *Introducción al programa de mantenimiento de equipos médicos* [en línea]. Ginebra-Suiza: L'IV Com Sàrl, p.9, Recuperado de: [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44830/1/9789243501536\\_spa.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44830/1/9789243501536_spa.pdf)

Parra Marquéz, Carlos & Furlanetto, Luciano (2015). *Desarrollo y aplicación práctica de un modelo de gestión del mantenimiento*. 2ª ed. Sevilla, España: Ingeman, p. 2.

Prasad, Rajesh & Kodali, Rambabu (2006). Development of a framework for world-class maintenance systems. *Journal of Advanced Manufacturing Systems [en línea]*, (Grecia) 5, Issue 2, pp. 141-142. ISSN 0219-6876. Recuperado de: <http://www.lms.mech.upatras.gr/LMS/publications/papers>

Rojas, Dany (2006). *Módulo de mantenimiento esbelto aplicable a las empresas de bienes o servicios* [En línea] (tesis). (Maestría) Universidad Valle del Momboy, Valera, Venezuela, pp. 5-8. Recuperado de: <http://revistav.uvm.edu.ve/articulos/qmeqq2artleonardo.pdf>

Temple Bird, Caroline & Kaur, Manjit (2005). How to organize the maintenance of your healthcare technology. "How to manage" series for healthcare technology. 1ª ed. Lewes-Reino Unido: Ziken International Consultants, p. 18.

UNE-EN 13306 (s.f). *Mantenimiento. Terminología del mantenimiento. Parte 2: Términos Fundamentales*.

**CIDE** |||  
EDITORIAL |||  
Cod. 9942-8632 |||



ISBN: 978-9942-759-18-4



978-9942-759-18-4