



# 1º CONGRESO de ELECTROMECHANICA RINTERNACIONAL & ELECTRICA

15 - 16 - 17  
Junio 2016

## TÍTULO

CONVERGENCIA DEL MÉTODO DE INTEGRACIÓN DE VARIABLES MODIFICADO,  
APLICADO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE POTENCIA REACTIVA EN REDES DE  
SUMINISTRO ELÉCTRICO INDUSTRIAL

Autores

PhD. Secundino Marrero Ramírez

PhD. Iliana Gonzalez Palau

MSc. Ángel León Segovia



# Introducción

---

1. En la optimización se requiere encontrar el valor de variables de decisión, con una o varias funciones objetivo
2. Estos problemas, suelen ser no linealizables, lo que dificulta la obtención de un óptimo global
3. La solución a los problemas de optimización combinatoria multiobjetivo se aplica hoy en diferentes campos de los sistemas energéticos a través de la inteligencia artificial
4. Hoy para los problemas relacionados con la compensación de la potencia reactiva, se utilizan los Algoritmos Genéticos (AG)
5. En los Algoritmos Genéticos no se obtiene una solución óptima, sino un conjunto de soluciones próximas al óptimo
6. El problema que será abordado, surge cuando se tienen múltiples capacitores para ser situados en un conjunto de nodos candidatos de un sistema de suministro eléctrico

# Materiales y métodos

---

1. La gestión de potencia reactiva en el sistema de suministro eléctrico, es una de las estrategias que incrementa la seguridad del sistema mediante la disminución de las pérdidas y la mejora de la estabilidad de tensión.
2. Durante la planificación de la potencia reactiva así como en la asignación por nodos, es necesario emplear métodos de optimización con distintos objetivos y restricciones
3. Como función objetivo (FO) para la compensación de la potencia reactiva en cada nodo  $i=1, \dots, m$ , del sistema, se utiliza:

$$Z_i = \max_j \left\{ w_{i,j} \left| \frac{Z_{c_{i,j}} - Z_{d_{i,j}}}{Z_{d_{i,j}}} \right| \right\}$$
$$\left| \frac{Z_{c_{ij}} - Z_{d_{ij}}}{Z_{d_{ij}}} \right| \leq 1 \quad \sum_{j=1}^m W_{ij} = 1$$

Dónde:

$Z_i$  - Valor de la función parcial del nodo  $i$ , donde se cumple que  $0 \leq Z \leq 1$

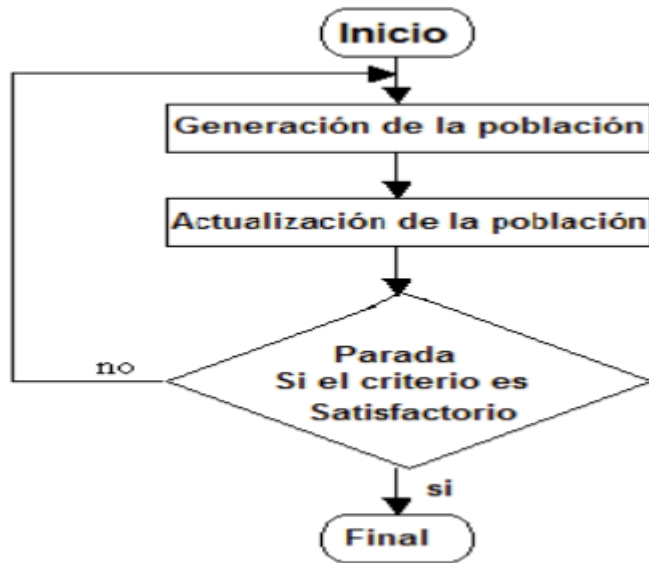
$W_{ij}$  - Coeficiente de peso en el nodo  $i$  para cada indicador  $j$

$Z_{c_{i,j}}$ ,  $Z_{d_{i,j}}$  - Valor calculado y deseado en el nodo  $i$  para el indicador  $j$

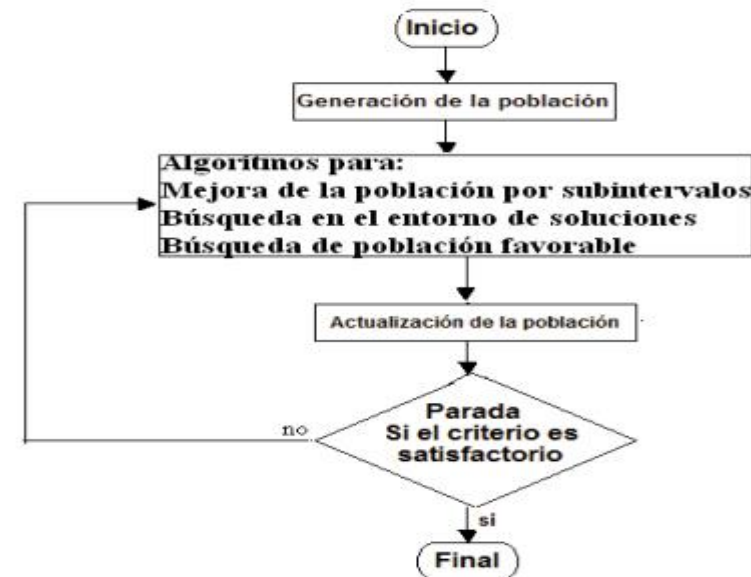
# Método de integración de variables y su modificación

Con frecuencia surgen dificultades en la aplicación de los algoritmos genéticos, donde pueden ser generados códigos de solución muy malos, combinando bloques de códigos buenos produciendo una pérdida de diversidad genética

El método de integración de variables (MIV) utiliza un solo código variable para describir las posibles soluciones y cualquier conjunto de operadores para actualizar los miembros de la población



Algoritmo del método integración de variables (MIV)



Algoritmo modificado (Búsqueda Aleatoria Condicionada, BAC)

# Problemas a resolver en el método de integración de variables

---

1. Un sistema de codificaciones para la representación de las posibles soluciones del problema estudiado.
2. Creación de la población inicial.
3. Función de calidad (fitness) que permita ordenar los códigos, de acuerdo a los valores de la función objetivo.
4. Operadores que permiten alterar la composición de los códigos de las soluciones en las poblaciones sucesivas.
5. Valores de los parámetros requeridos por el algoritmo utilizado (tamaño de la población, probabilidades asociadas con la aplicación de ciertos operadores, etc.)
6. **Atendiendo a las características del problema planteado, donde el carácter discreto, no lineal y la dimensión del sistema a analizar, limita el empleo de otras técnicas clásicas de optimización**
7. Minimizar la función objetivo  $Z = f(x)$ ,  $x \in D$ , con las restricciones  $g_i(x) \leq 0$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$
8. Donde  $D$  es el conjunto finito de las posibles  $T$  configuraciones del sistema eléctrico que se estudia
9. Siempre se podrá aplicar el Método de Búsqueda Exhaustiva para encontrar las mejores configuraciones  $X$
10. **Si  $T$  no es pequeño, entonces este método no proporciona la solución buscada (deseada) en un límite de tiempo adecuado**

# Caso de estudio

Restricciones en las variaciones de voltaje ( $\Delta V < 5\%$ ), valor del VAN positivo, los límites del  $\cos \phi > 0.9$  en el nodo de entrada y  $\cos \phi > 0.75$  en los nodos de carga, partiendo de una variante base para el cálculo de la optimización, donde los valores del factor de potencia en los nodos de carga 3, 4 y 5 fueron elevados hasta 0.97

Para el cálculo económico se consideró el costo del Kvar = 15 USD, el tiempo del proyecto de 10 años y la tasa de descuento 15%. El valor del VAN obtenido en la variante base es de 10000 USD

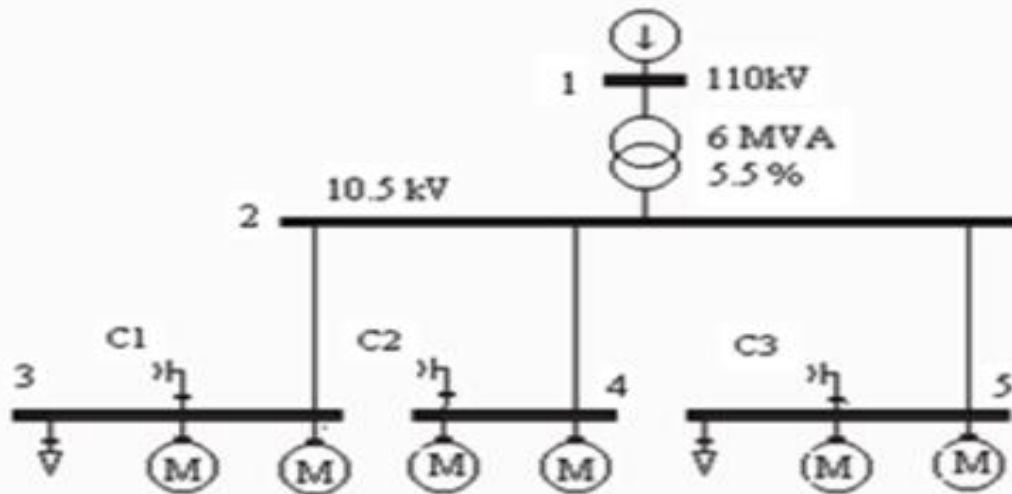


Figura. 1. Circuito para la validación del algoritmo BAC

Tabla 1. Carga instalada en cada nodo y valores de  $Q_c$  seleccionados antes de la optimización

Nodos	Potencia activa, kW	Potencia reactiva, kVAr	Potencia capacitiva, kVAr
3	1053	390	450
4	81	34	34
5	2050	874	460

# Análisis de resultados

Para la validación del algoritmo durante la optimización, se realizaron las simulaciones del sistema, efectuándose primeramente una búsqueda exhaustiva en la población para obtener el patrón de calidad y la  $Z_{ex}$ .

Luego se procedió a realizar experimentos con más de 40 muestras. Los resultados para cinco de estos ensayos aparecen en la siguiente figura 2.

Se observa el comportamiento de la relación  $Z/Z_{exa}$  (relación del valor de  $Z$  calculada y el menor valor de  $Z_{exa} = 0.00728$  encontrado en la búsqueda exhaustiva

En los experimentos se le asignó un coeficiente de peso mayor ( $w_i$ ) a los indicadores factor de potencia y pérdidas totales en la función objetivo

Como resultado se observó que al calcular el 5% de las configuraciones posibles, el error siempre era menor de un 2%

La aparición de soluciones eficientes cercanas a la mejor solución hallada en la búsqueda exhaustiva, superaron en la mayoría de los casos la cifra de cuatro (Fig. 3)

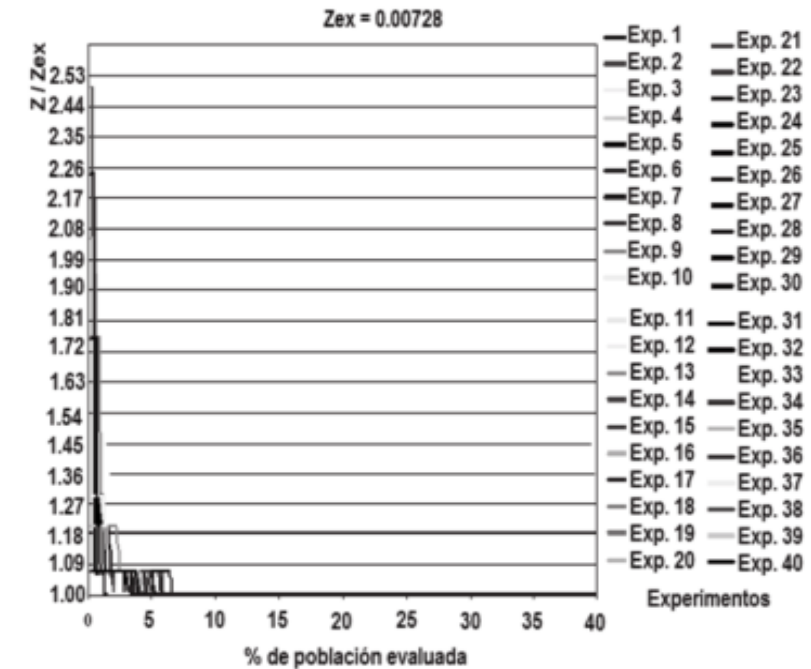


Figura 2 Experimentos en la simulación

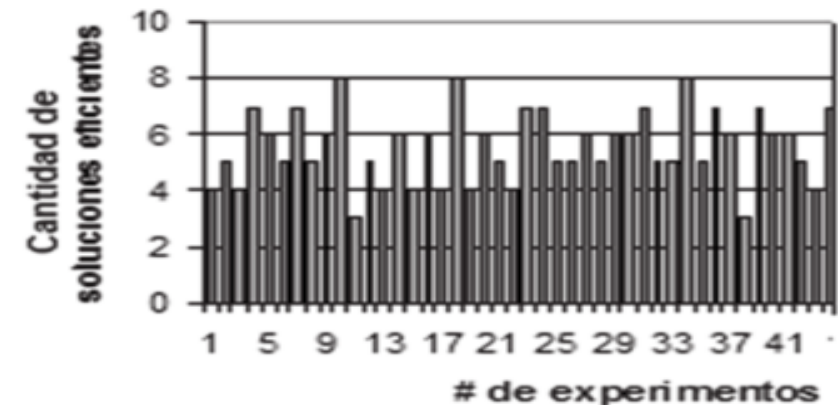
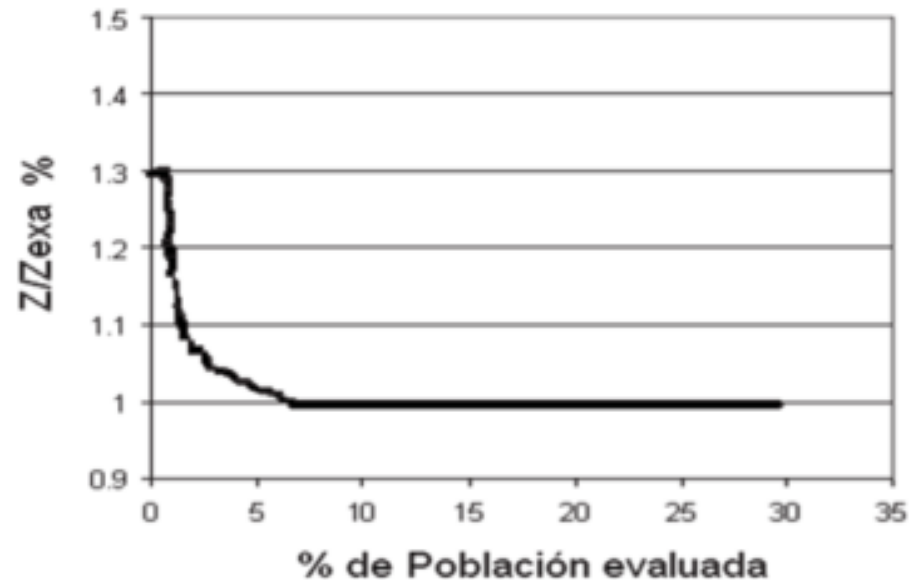


Figura 3. Cantidad de soluciones eficientes para diferentes experimentos



# Análisis de resultados



**Tabla 2. Pérdidas y  $\cos \varphi$  para diferentes soluciones encontradas en la población inicial**

No	Valores Calculados de Z	Pérdidas de (MWh)	Activas	$\Delta E$	Cos $\varphi$ en los nodos		
					3	4	5
1	0.025	298.01			0.90	0.76	0.92
2	0.019	283.82			0.94	0.89	0.92
3	0.009	276.73			0.93	0.92	0.93

**Tabla 3. Valores de pérdidas y  $\cos \varphi$  para tres de la soluciones eficientes encontradas**

Solución	Valor. de (Z) Calcul.	Pérdidas $\Delta E$ (MWh)	Cos $\varphi$ en los nodos de carga			Qc en los bancos capacitores en kVAr		
			4	5	6	C1	C2	C3
1	0.00736	272.47	0.96	0.94	0.94	472	27	375
2	0.00762	274.60	0.95	0.95	0.94	450	34	375
3	0.00771	270.34	0.95	0.95	0.95	450	34	469

- La Tabla 2 muestra la evolución del algoritmo propuesto (BAC) para 3 valores de Z pertenecientes a la población inicial donde existe un total de 8600 posibles configuraciones
- Los valores de las soluciones encontradas en la población inicial para valores diferentes y alejados entre sí (con valores de Z alto, medios y bajos, tabla 2) que al ser comparados con la población final (Tabla 3) se puede observar, la mejora del  $\cos \varphi$
- La reducción de pérdidas en valores superiores al 20% e incrementos del VAN en mas del 30%



# Conclusiones

---

1. Se observó en todos los casos, la obtención de soluciones eficientes al evaluar un número de población cercano al 10% del total de posibles soluciones,
2. En los experimentos realizados es posible considerar que transcurrido el número de iteraciones señalado en el análisis de poblaciones cercanas al 10%, se pueden alcanzar soluciones eficientes,
3. Se evidenció que en un número considerable de los experimentos, al arribar al análisis del 10% de la población total, existían más de tres soluciones cercanas a los valores de la mejor solución encontrada en la búsqueda exhaustiva,
4. El método de Búsqueda Aleatoria Condicionada permite generar poblaciones de soluciones y obtener convergencia de forma relativamente rápida y efectiva, lo que facilita evaluar diferentes opciones de conexión de los elementos correctores en una red.

# Bibliografía

---

1. Alonso M.M., Gestión óptima de potencia reactiva en sistemas eléctricos con generación eólica. Tesis de PhD, Universidad Carlos III de Madrid. Madrid, España, 2010
2. Arzola R.J., Simeon R.M. and Maceo, A., The integration of variables method: a generalization of genetic algorithm. Intensive workshop on optimal design of method. Paris. Francia. 2003.
3. Aydogan, O., Jae Y.L. and Chanan, S., Post-outage reactive power flow calculations by genetic algorithms: Constrained optimization approach. IEEE Transactions on Power Systems, 20 (3), pp. 1226- 1272, 200
4. Li, F., Pilgrim, D.J. and Dabeedin, C., Genetic algorithms for optimal reactive power compensation on the national grid system. IEEE. Transactions On Power Systems, 20 (1), pp. 493-500, 2005.
5. García C., García E. y Villada F., Algoritmo evolutivo eficiente aplicado a la planeación de la expansión de sistemas de distribución. Revista Información Tecnológica, 23 (4), pp. 3-10, 2012.
6. Gil, M.F., Manzano, A.F., Gómez, L.J. y Sánchez, A.P., Técnicas de investigación en calidad eléctrica: Ventajas e inconvenientes. DYNA, 79 (173), pp. 66-74, 2012.
7. González, P.I., Legra, L.A., Marrero, R.S. y Arzola, R.J., Optimización de la compensación de potencia reactiva en redes de suministro eléctrico industrial con el empleo de de un algoritmo de criterios múltiples. Parte I Revista Energética, pp. 40-44. 2006.
8. Schweickardt, G.A., Eficiencia energética mediante el balance de fases en sistemas de distribución en baja tensión. Solución desde un enfoque metaheurístico. Energética (44) pp. 5-17, 2014.
9. Stützle, T., Dorigo, M., A short convergence proof for a class of Ant Colony Optimization algorithms. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 6 (4), pp. 358-365, 2002.
10. Rueda, V.M., Velázquez, J.D, Franco, C.J., Avances recientes en la predicción de la demanda eléctrica usando modelos no lineales. DYNA, 78 (167), pp. 36-43, 2011.