

# Desarrollo de una celda para la evaluación de distribución de tamaño de micropartículas suspendidas en agua



# Estructura de la presentación

- ▶ Métodos de caracterización de distribución de tamaño
- ▶ Fundamentación del método de medición
- ▶ Caracterización del sistema de partículas de calibración
- ▶ Diseño y construcción de la celda de medición
- ▶ Programa de mediciones
- ▶ Resultados alcanzados
- ▶ Conclusiones

# Métodos de caracterización de distribución de tamaño

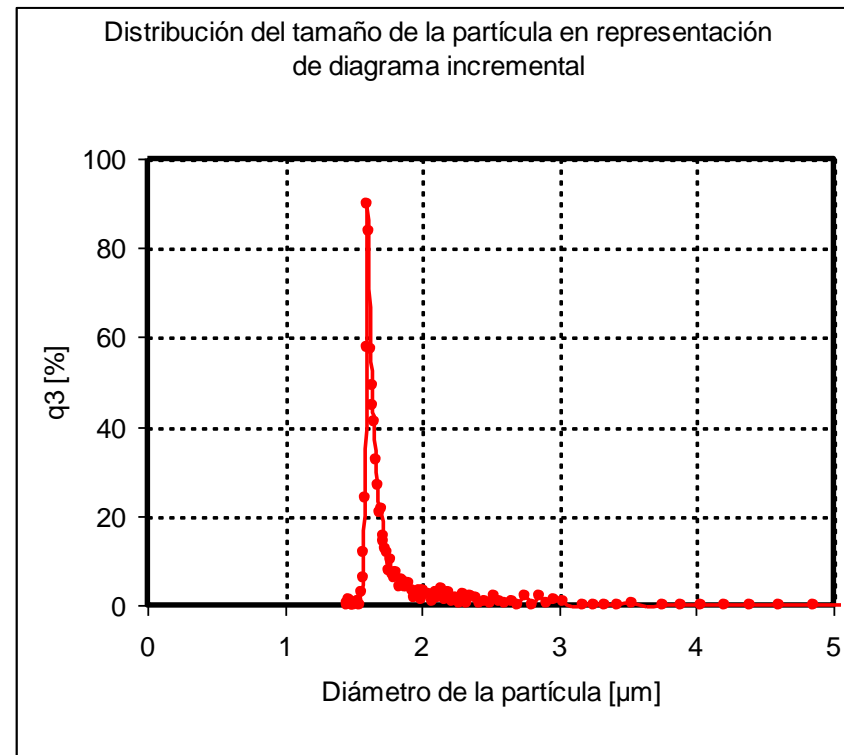
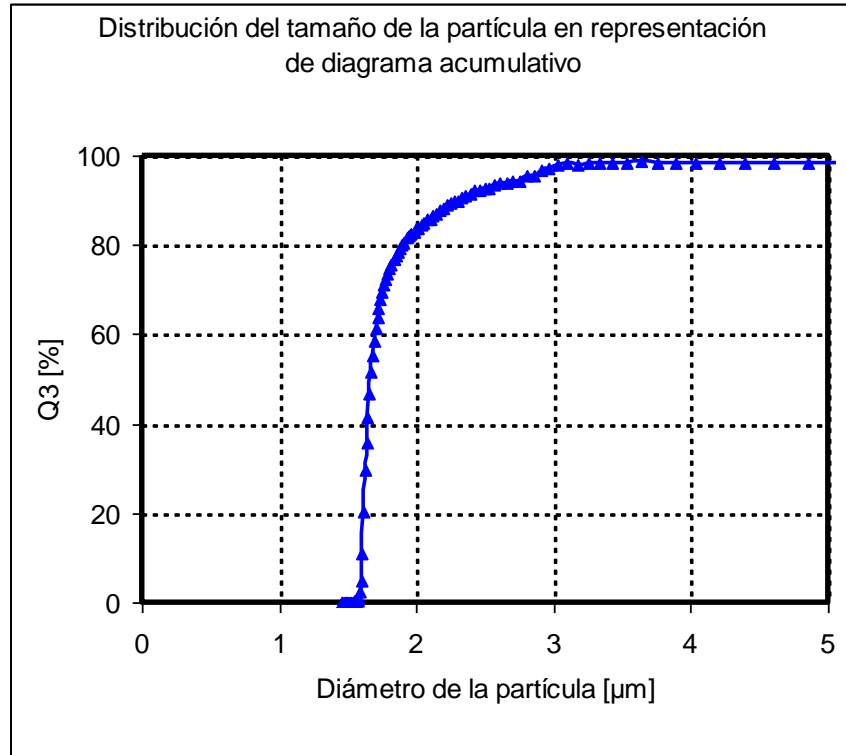
- ▶ Métodos por absorción de ondas electromagnéticas
  - Método de extinción fotométrica
  - Método de absorción de rayos X

# Métodos de caracterización de distribución de tamaño

- ▶ Diagrama acumulativo;  $Q_3(x)$
- ▶ Diagrama incremental;  $q_3(x)$
- ▶ Relación entre formas de representación

$$Q_3(x) = \int q_3(x) \cdot dx$$

# Métodos de caracterización de distribución de tamaño



# Fundamentación del método de medición

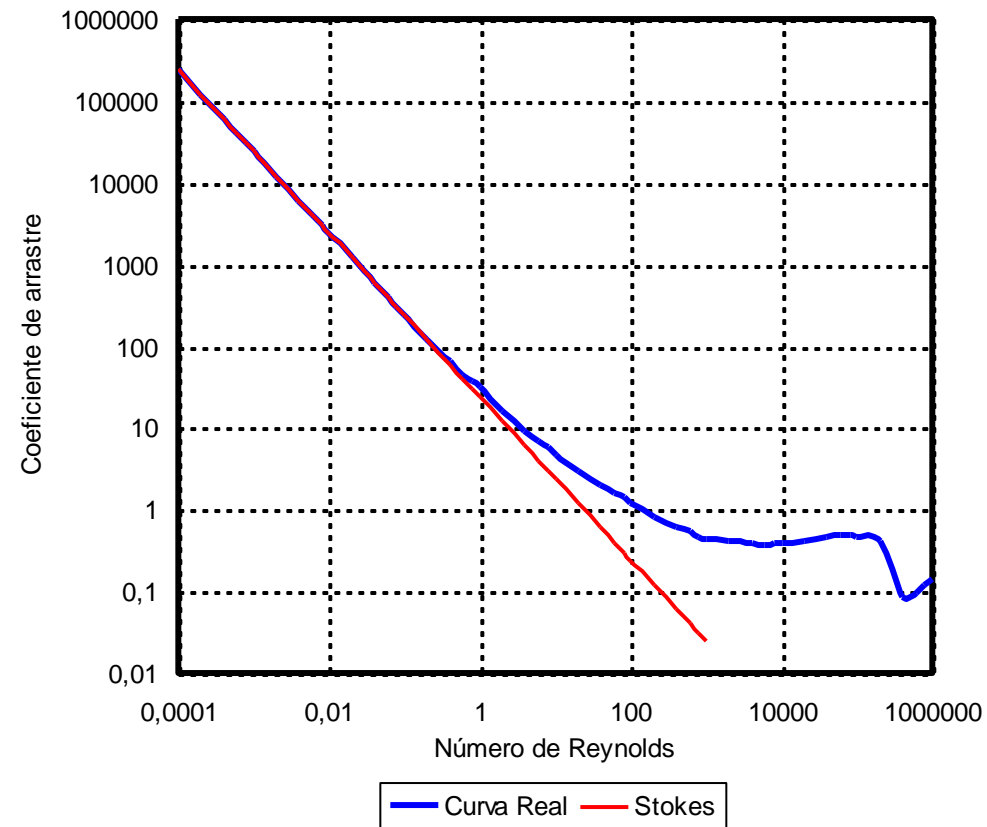
- ▶ La fuerza de arrastre se evalúa a partir del coeficiente de arrastre, el que depende del tipo de escurrimiento sobre el cuerpo, el que a su vez se representa a través del Número de Reynolds asociado a la forma del cuerpo, que en este caso se asume como una esfera rígida.

$$\vec{F}_{arrastre} = C_a \cdot A_p \cdot \rho_f \cdot \frac{|\vec{v}| \cdot \vec{v}}{2}$$

$$\text{Re} = \frac{v \cdot x \cdot \rho_f}{\mu_f}$$

# Fundamentación del método de medición

Comportamiento del coeficiente de arrastre de una esfera respecto del Número de Reynolds del escurrimiento sobre ella.



# Fundamentación del método de medición

- Considerando que el escurrimiento sobre la partícula adquiere valores de Número de Reynolds menores al valor crítico que es 0,25, se puede emplear el valor propuesto por Stokes, para evaluar el coeficiente de arrastre, que es:

$$C_a = \frac{24}{\text{Re}}$$



# Fundamentación del método de medición

- ▶ Reemplazando este coeficiente de arrastre, se obtiene el siguiente conjunto de ecuaciones que modelan el movimiento:

$$\frac{d^2 \vec{z}(t)}{dt^2} = \frac{(\rho_p - \rho_f) \cdot x^2 \cdot g}{18 \cdot \mu_f} \cdot e^{-\frac{18 \cdot \mu_f}{\rho_p \cdot x^2} \cdot t}$$

$$\frac{d\vec{z}(t)}{dt} = \frac{(\rho_p - \rho_f) \cdot x^2 \cdot g}{18 \cdot \mu_f} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{18 \cdot \mu_f}{\rho_p \cdot x^2} \cdot t} \right)$$

$$z(t) = \frac{(\rho_p - \rho_f) \cdot x^2 \cdot g}{18 \cdot \mu_f} \left( t + \frac{\rho_p \cdot x^2}{18 \cdot \mu_f} \cdot e^{-\frac{18 \cdot \mu_f}{\rho_p \cdot x^2} \cdot t} \right)$$

# Fundamentación del método de medición

Considerando el comportamiento de las ecuaciones de movimiento, se alcanza una condición de movimiento a velocidad constante, la que denominada velocidad terminal o de Stokes, que para el caso de partículas esféricas es:

$$v_{St} = \frac{(\rho_p - \rho_f) \cdot x^2 \cdot g}{18 \cdot \mu_f}$$

Considerando esta velocidad de sumergimiento constante, es posible despejar el diámetro de la partícula de la expresión anterior, obteniéndose la siguiente ecuación :

$$x = \sqrt{\frac{18 \cdot \mu_f \cdot v}{(\rho_p - \rho_f) \cdot g}}$$

# Fundamentación del método de medición

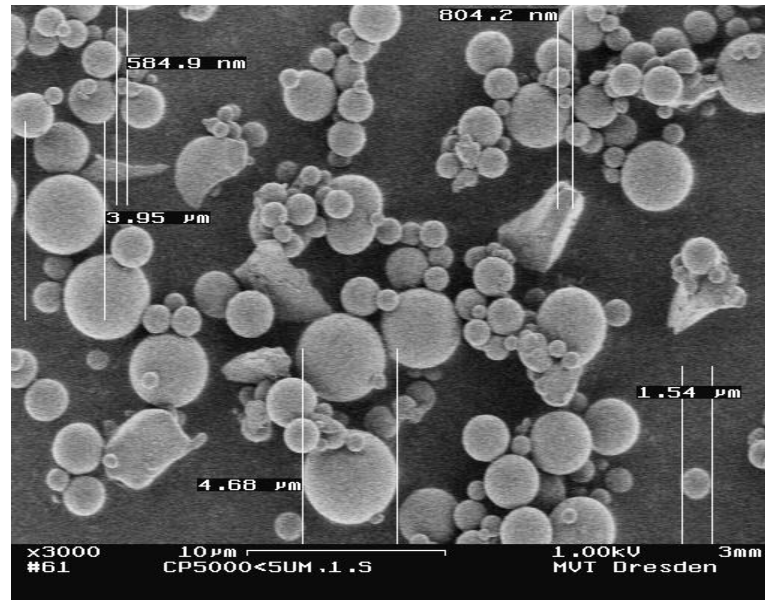
- La ley de Lambert-Beer establece la relación existente entre la fracción intensidad de luz transmitida a través de una suspensión con el área específica de extinción de las partículas existentes en ésta (o la sombra generada por las partículas), su concentración volumétrica y el espesor de la cubeta contenedora, conformando el siguiente conjunto de ecuaciones.

$$\ln T = \ln \frac{I}{I_0} = -A_{esp} \cdot C_v \cdot L$$

$$A_{esp} = \frac{3}{2} \cdot \frac{K(x)}{x} = \frac{E/L}{C_v} = \frac{A_{ext}}{V_p}$$

# Caracterización del sistema de partículas de calibración

- Proveedor y código de producto: Potters Industries Inc. - CP 5000
- Composición química: Dióxido de Silicio amorfo ( $\text{SiO}_2$ )
- Forma y estructura: Esférica-amorfa y rígida
- Densidad media:  $2.170 \text{ [kg/m}^3\text{]}$
- Diámetro nominal:  $5 \text{ [}\mu\text{m]}$



# Caracterización del sistema de la suspensión de calibración

- Fluido: Agua destilada, filtrada y desionizada
- Antifloculante: Hidróxido de Potasio (KOH)
- Índice de acidez (pH): 9,5

# Diseño y construcción de la celda de medición

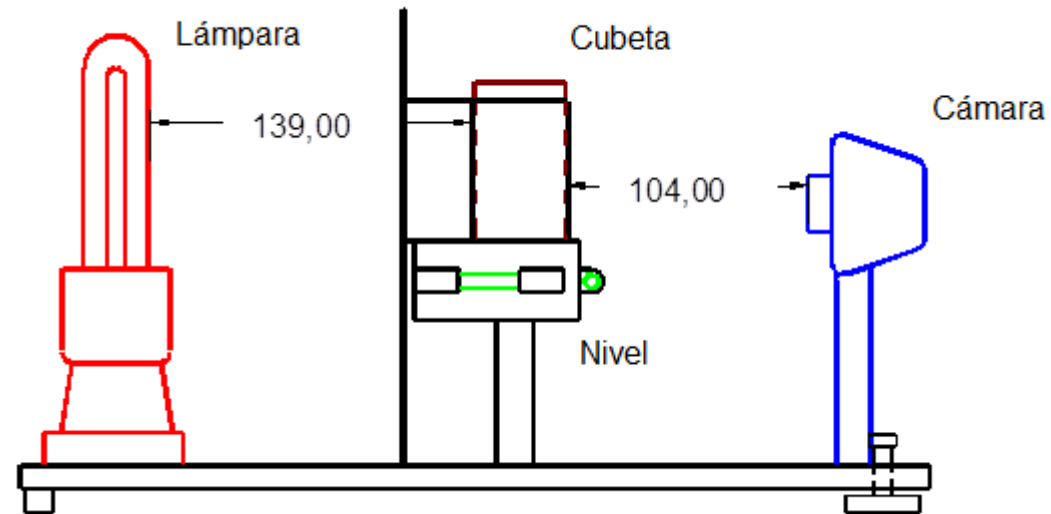
- ▶ La celda consiste en una cubeta de sección rectangular en la cual se introducirá la suspensión ya dispersada.
- ▶ En su interior se desarrollará la sedimentación gravitacional de las partículas existentes en la suspensión.
- ▶ Se monta una fuente de luz (lámpara de baja energía) y una web-cam, que corresponde a un fotosensor, perpendicularmente a la fuente de luz en una posición dada, dejando entre ellos la cubeta que contiene la suspensión, de manera de sensar el paso de las partículas a través de la variación de la extinción de la luz que capta el fotosensor.

# Diseño y construcción de la celda de medición

- ▶ Las propiedades del fluido y de las partículas convenientemente introducidas en el grupo de ecuaciones de movimiento, es posible determinar el tiempo requerido por las partículas para alcanzar una velocidad terminal de sumergimiento. Esto permite determinar la posición donde se puede emplazar la web-cam o foto sensor, con el objeto de sensar de manera representativa, el paso de las partículas con una velocidad constante o terminal.
- ▶ Realizados los reemplazos se determina el tiempo que transcurre durante la etapa de velocidad de sumergimiento variable, el que es 10,912 [ms], el que conlleva un desplazamiento de las partículas de 1,787 [nm].

# Diseño y construcción de la celda de medición

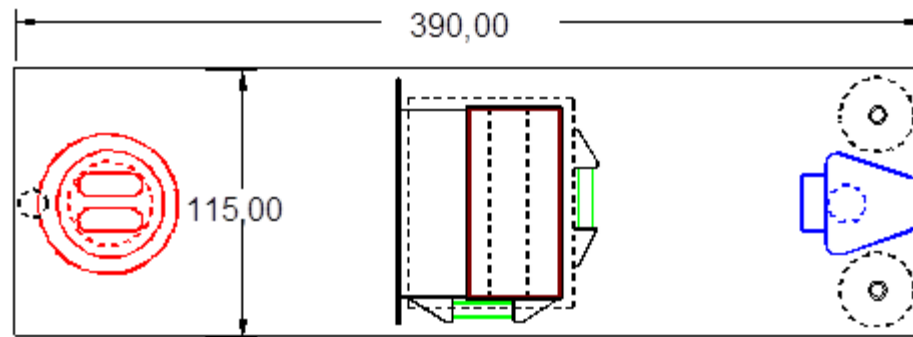
## ► Elevación.





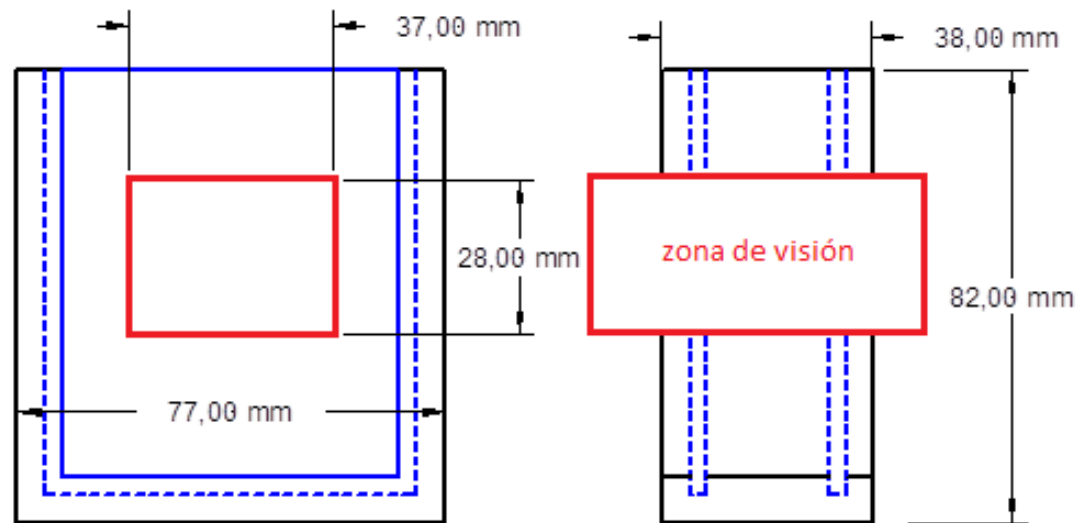
# Diseño y construcción de la celda de medición

## ► Planta.



# Diseño y construcción de la celda de medición

- Zona de medición o visión.



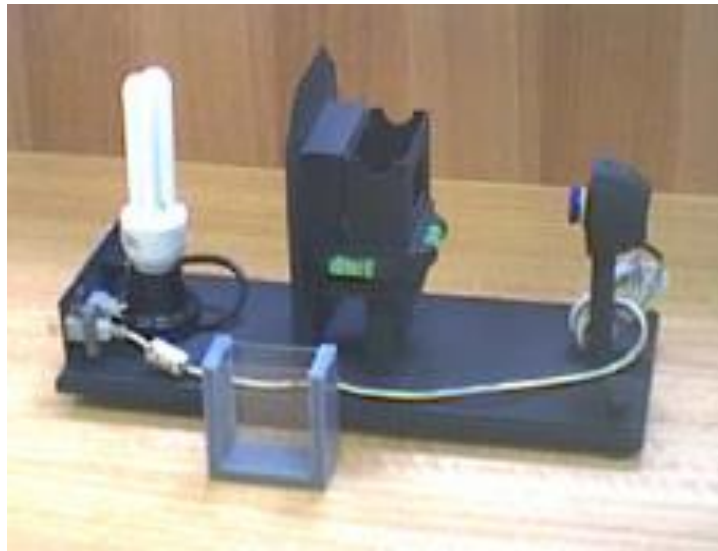
# Diseño y construcción de la celda de medición

## Características técnicas de la celda de sedimentación

Puntos de medida	1
Posición desde superficie libre	15 mm
Fuente de luz Lámpara de baja energía	ECO 11 W - 220-240 V/ 50 Hz
Sección de captura de luz	1 mm
Filtro Gris Kiel de intensidad variable	28×37 mm <sup>2</sup> (altura × ancho)
Foto sensor web-cam CMOS	640×480 pixel en formato .mbp y .jpeg
Cubeta rectangular de vidrio de cuarzo	70×60 mm <sup>2</sup> (altura × ancho)
Espesor de la cubeta	38 mm
Volumen de la cubeta	70 ml
Software de medición	DPEI (Desarrollado en C++)

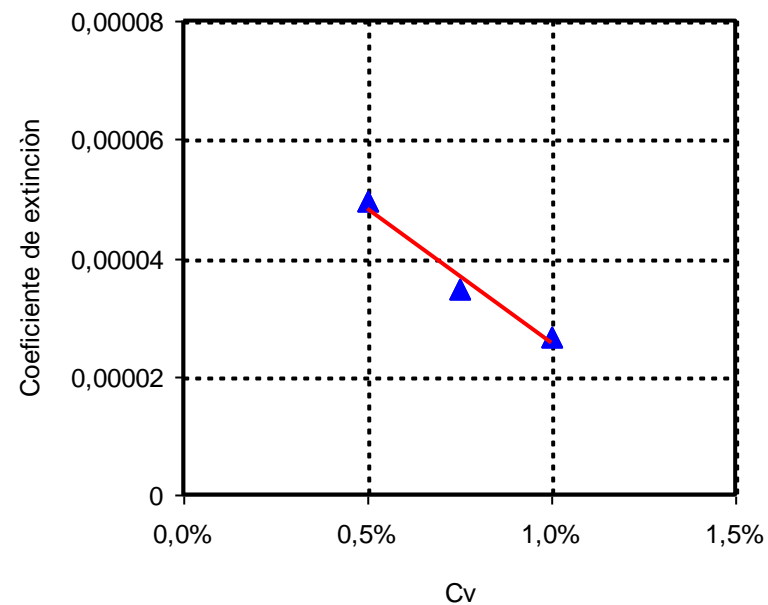
# Diseño y construcción de la celda de medición

Fotografía de perfil



# Programa de mediciones

Comportamiento del coeficiente de extinción de la web-cam o foto sensor en relación a la concentración volumétrica en la zona de linealidad.



# Programa de mediciones

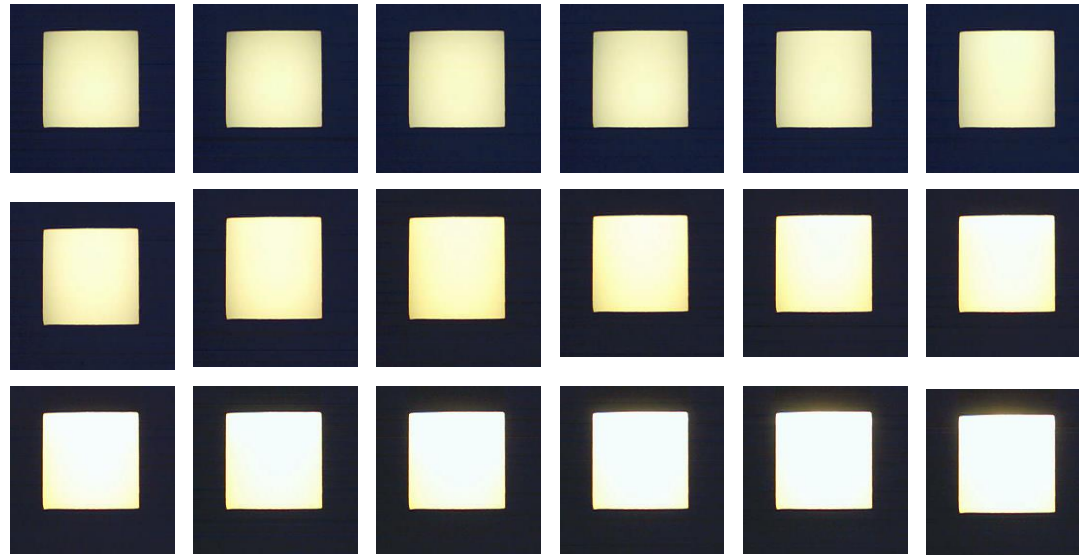
- Preparación de las suspensiones a ensayar
- Dispersión por antifloculante
- Dispersión por mezclador de alta velocidad
- Dispersión por ultrasonido
- Control de las suspensiones
- Por espectrometría Láser mediante un espectrómetro Láser Helos Fa. Sympatec
- Por análisis de imágenes mediante un microscopio electrónico Zeiss Gemini 942

# Programa de mediciones

- Aislación térmica, óptica y mecánica del entorno de la celda de medición.
- Programación del software de medición de la generación de imágenes o intensidad lumínica recibida por web-cam o foto sensor cada 600[s]
- Carga de la suspensión en la cubeta
- Inicio del ensayo

# Resultados alcanzados

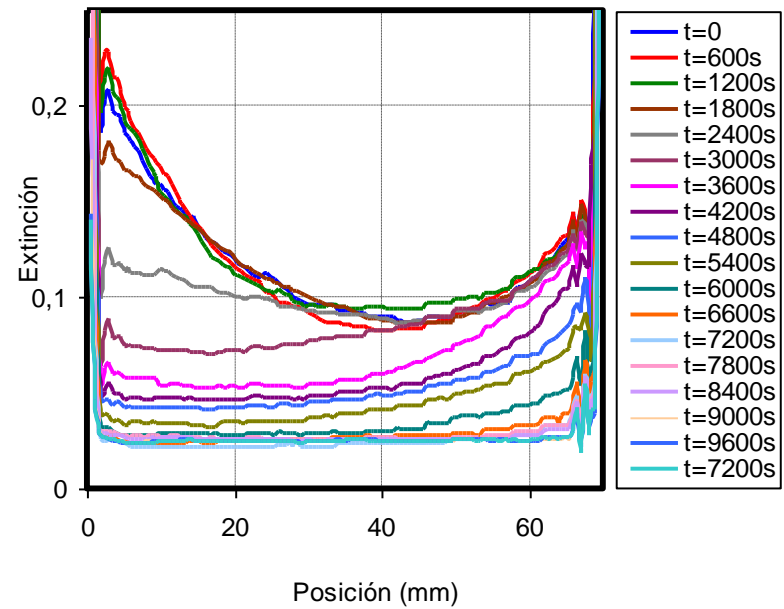
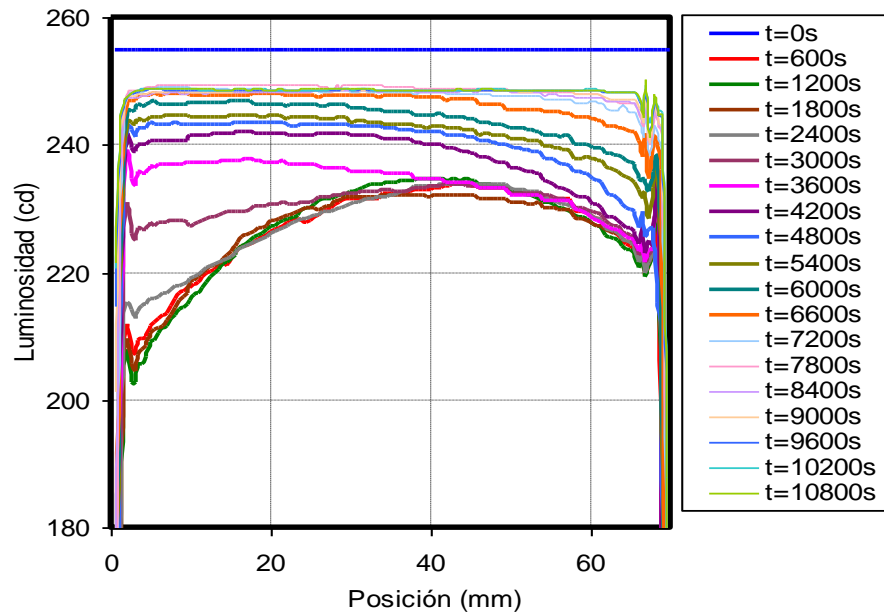
Imágenes del proceso de sedimentación directamente captadas por la web-cam durante el ensayo en tiempos sucesivos





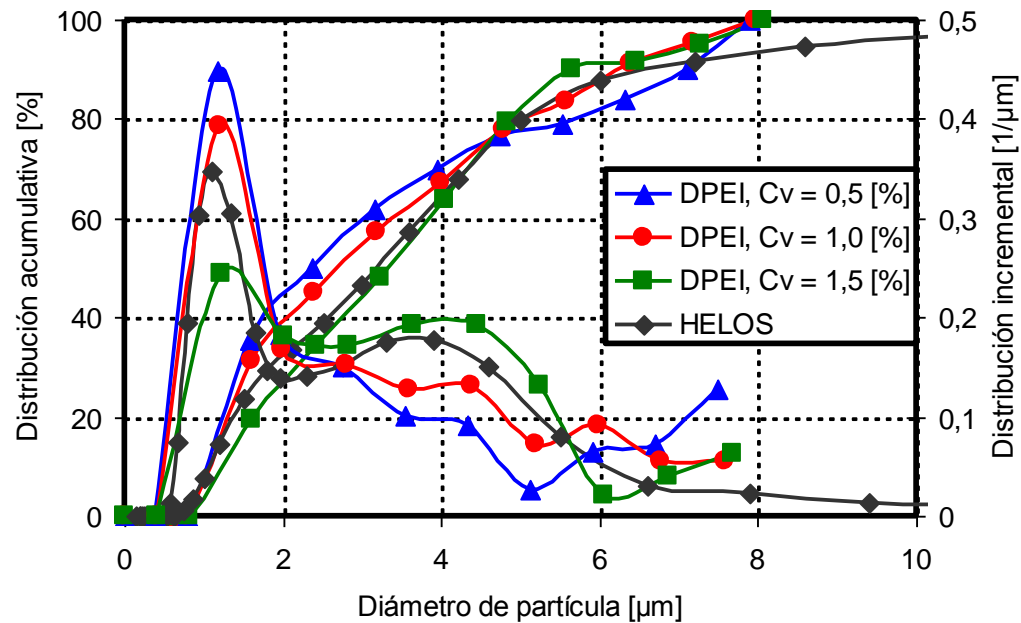
# Resultados alcanzados

Comportamiento de la extinción en términos de luminosidad y extinción suministrada por la web-cam respecto del tiempo



# Resultados alcanzados

Diagramas acumulativos e incrementales obtenidos para diferentes concentraciones volumétricas y el patrón de medida



# Conclusiones

- ▶ La celda de sedimentación DPEI es capaz de realizar ensayos con precisión al trabajar con concentraciones volumétricas menores o iguales al 1% para suspensiones de Monosphere CP 5000 en agua, por lo tanto las distribuciones incrementales de tamaños de partículas logradas dentro de este rango de concentraciones volumétricas se consideran correctas. Por lo que la celda de sedimentación DPEI es una herramienta de trabajo confiable dentro de los parámetros ya mencionados.
- ▶ El resultado obtenido para la función coeficiente de extinción es correcto solamente dentro de los rangos de linealidad con respecto de las concentraciones volumétricas, debido a que el sistema óptico es capaz de detectar los cambios de extinción solamente para las concentraciones menores o iguales al 1%.

# Conclusiones

- ▶ Además, la pendiente obtenida para la función coeficiente de extinción concuerda con la bibliografía, la que demuestra que es descendente para este rango de tamaños de partículas.
- ▶ La función coeficiente de extinción es posible evaluarla mediante el método experimental utilizando la celda de sedimentación DPEI dentro del rango de linealidad del equipo, tanto para el Monosphere CP 5000 como otro material particulado con características similares.

# Gracias por su presencia y atención

