

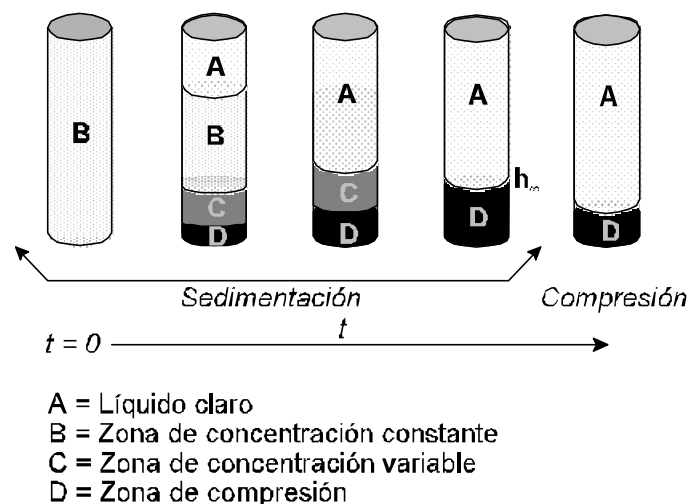
**Sedimentación
intermitente.
Cálculo de un
sedimentador continuo**

Objetivos de la práctica

- ! Obtener la velocidad de sedimentación de un sólido a partir de un ensayo de sedimentación intermitente de laboratorio.
- ! Utilizar los datos obtenidos para diseñar un sedimentador continuo, calculando su diámetro y su altura.

Fundamento teórico

Para la obtención experimental en el laboratorio de las velocidades reales de sedimentación se realiza un ensayo que consiste en la sedimentación de una suspensión, de concentración de sólidos conocida, en una probeta. Las distintas etapas que se observan se esquematizan en la siguiente figura:

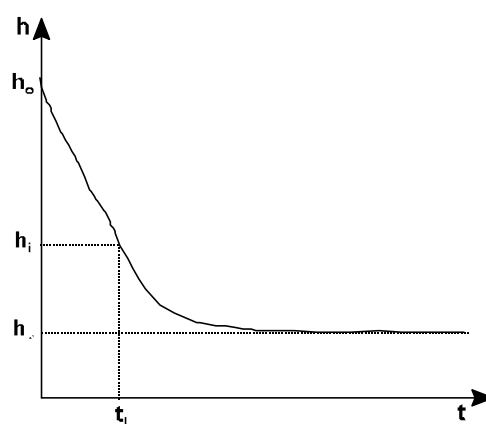


Al comienzo del ensayo de sedimentación todas las partículas descienden en sedimentación libre y velocidad constante en la zona (B) de la suspensión, cuya concentración de sólidos es también constante. Por encima de esta zona aparece una zona (A), de líquido claro. A lo largo del ensayo la altura h del límite de separación del líquido claro (A) y la zona de sólidos suspendidos (B), disminuye a velocidad constante y en el fondo de la probeta aparece una nueva zona (D), que contiene las partículas sedimentadas, al tiempo que entre las zonas (B) y (D) surge una zona de transición (C) cuyo contenido en sólidos varía entre el que existe en la zona (B) hasta el que hay en

la zona (D).

Cuando la sedimentación avanza, las zonas (B) y (C) disminuyen de tamaño hasta desaparecer, marcando en ese momento el comienzo de la etapa de compresión de la zona (D). Este instante se denomina *punto crítico* y, a partir del mismo, el líquido contenido en la zona A es desplazado por los sólidos, al tiempo que el espesor de la zona de compresión disminuye.

Los datos $h - t$ obtenidos a partir del ensayo de laboratorio tienen la forma que muestra la siguiente figura:



A partir de estos datos será necesario determinar de qué forma la velocidad de descenso de las partículas sólidas, v , es decir, la velocidad de sedimentación, es afectada por la concentración de la suspensión, C , con objeto de poder sustituir dicha relación en la ecuación que permite calcular el área de un sedimentador continuo.

Así, si se llama h_i a la altura del límite inferior de la zona (A), su posición en cada momento vendrá dada por:

$$h_i = h_o - v t_i$$

es decir, si se miden las alturas desde la base de la probeta, la diferencia entre la altura inicial, h_o (a la que le corresponde la concentración inicial, C_o), y el espacio recorrido por los sólidos, que sedimentan a la velocidad v . Obsérvese en este punto que para continuar con el razonamiento, se aceptará la hipótesis propuesta por Kynch(1952), que considera que la velocidad de sedimentación, v , solamente depende de la concentración de la suspensión, C .

Reordenando los términos de la ecuación anterior:

$$h_i - v t_i = h_o$$

y teniendo en cuenta que a esa velocidad v le corresponde una concentración C , podrá establecerse el balance de materia:

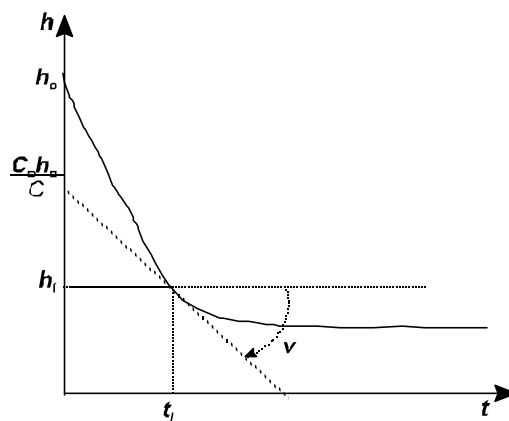
$$(h_i - v t_i) \cdot C \cdot A [kg] = h_o \cdot C_o \cdot A [kg]$$

ya que todos los sólidos presentes al principio en la suspensión (C_o en h_o) tendrán que pasar por la interfase de separación entre el líquido claro y los sólidos suspendidos.

Operando esta ecuación se obtiene:

$$h_i = \frac{h_o C_o}{C} - v t_i$$

ecuación de una recta en la gráfica experimental de sedimentación intermitente $h - t$, que representa la pendiente (tangente) en cualquier punto i de la curva obtenida (velocidad de desplazamiento de la interfase, dh/dt , variable a lo largo del experimento).



La pendiente de esta recta será la velocidad de sedimentación, v , a la concentración C , que puede obtenerse a partir de su ordenada en el origen (ya que se conocen h_o y C_o).

En resumen, trazando varias tangentes a la curva $h - t$ de sedimentación intermitente podrán obtenerse las parejas de valores $v - C$ necesarias para el cálculo del área del sedimentador continuo. Evidentemente, se obtendrán tantos valores del área como pendientes se determinen. El valor utilizado para el diseño tendrá que ser el mayor de todos los obtenidos, con objeto de asegurar que el área utilizada permita el paso de

todos los sólidos contenidos en la suspensión.

Obsérvese que las tangentes pueden ser trazadas partiendo de valores predeterminados de la ordenada en el origen, o lo que es lo mismo, de la concentración (ya que L_o y C_o son datos de diseño del sedimentador continuo), lo que facilita no sólo el trazado geométrico, sino también la obtención del tiempo de residencia, t_R , de los sólidos en el sedimentador, dato imprescindible para el cálculo de la altura del sedimentador continuo.

Dispositivo experimental

El ensayo de sedimentación intermitente se realizará en una probeta de vidrio de 1 l de capacidad, que dispone de una escala graduada de alturas, utilizando una suspensión de carbonato cálcico. Esta suspensión se preparará con una concentración de **60 g/l** a partir de CaCO_3 comercial ($r_s = 2,63 \text{ g/cm}^3$). El tiempo se medirá con un cronómetro y para poder ver mejor el avance de la interfase, se iluminará la probeta por la parte posterior a la de su observación mediante un flexo.

Realización práctica

Se introduce la suspensión en la probeta hasta una altura determinada (h_o), se agita vigorosamente y se deposita la probeta sobre una superficie horizontal, momento en que se pone en marcha el cronómetro. Durante la primera media hora de sedimentación se tomarán medidas de altura de la interfase descendente a intervalos de **1 min.**; durante la segunda media hora, a intervalos de **2 min.** y durante la tercera media hora, a intervalos de **5 min.**

Con ayuda de los datos obtenidos se desea calcular las dimensiones (área y altura) de un sedimentador continuo que se alimentará con una suspensión de CaCO_3 comercial de concentración **60 kg/m³** a un caudal de **100 m³/h** con objeto de producir una suspensión concentrada de **120 kg/m³** y un sobrenadante limpio.

Presentación de los resultados

1. Identificar los datos de diseño del sedimentador continuo, L_o , C_o y C_F . ¿Cuál es

la relación entre la concentración de la suspensión de la probeta y los datos de diseño?

2. Obtener los datos de variación de la altura de la interfase en la probeta con el tiempo. Representarlos gráficamente y trazar a través de los puntos obtenidos la mejor curva posible.
3. Calcular los valores de las ordenadas en el origen que se obtendrían de tangentes de concentraciones comprendidas entre el 60% y el 100% de la concentración del lodo (cinco valores, al menos).
4. A partir de las ordenadas calculadas, trazar las correspondientes tangentes a la curva $h - t$, determinando los respectivos valores de h_i , t_i y v . Obtener el tiempo de residencia de los sólidos en el sedimentador, t_R .
5. Representar la curva de variación de la velocidad de sedimentación con la concentración.
6. Calcular las áreas que le corresponden a cada pareja $v - C$; representar los valores de A obtenidos frente a la concentración y determinar gráficamente el área mínima del sedimentador.
7. Demuéstrese la suposición realizada de que el volumen ocupado por la suspensión es aproximadamente igual al ocupado por el líquido solo. Realícese el cálculo obteniendo el volumen de CaCO_3 que contiene 1 m^3 del lodo concentrado.
8. Calcular el volumen de sólidos, y el volumen del líquido mediante integración numérica o gráfica. Obtener el volumen teórico del sedimentador.
9. Calcular la altura teórica del sedimentador y corregirla con un valor intermedio del intervalo recomendado para obtener la altura real de diseño.

Bibliografía

- ! Calleja, G. (ed.); "Introducción a la Ingeniería Química", Ed. Síntesis, Madrid (1999).
- ! McCabe, W.L. y Smith, J.C.; "Operaciones básicas de Ingeniería Química", Ed. Reverté, Barcelona (1973).
- ! Svarovsky, L. (ed.); "Solid-liquid separation", Chemical Engineering Series,

Butterworths, London (1977).