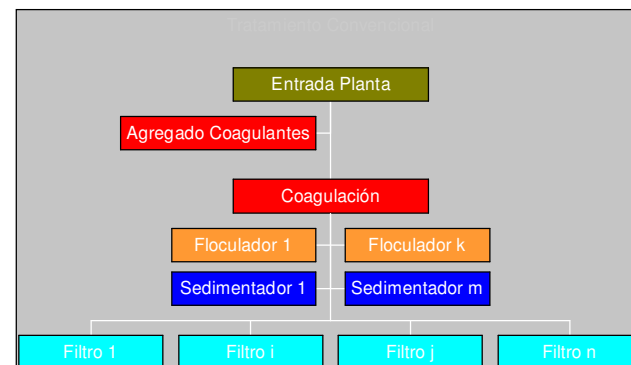


TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

FLOCULACIÓN

GERARDO AHUMADA THEODULOZ

INTRODUCCIÓN



FLOCULACIÓN - DEFINICIÓN

- La segunda fase de formación de partículas sedimentables, a partir de partículas desestabilizadas de tamaño coloidal, se conoce por Floculación. Este término que se deriva del latín, en este caso del verbo Floculare, que quiere decir formar un flóculo fibroso.

FLOCULACIÓN - DEFINICIÓN

- Al revés que la coagulación, donde la fuerza primaria es de tipo electroestático o interiónico, la floculación se debe a un mecanismo de formación de puentes químicos o enlaces físicos. Desde el punto de vista operativo, en general en la floculación se consigue partículas suspendidas, discretas y visibles. En esta fase las partículas tienen un tamaño suficiente para sedimentar rápidamente por efecto de la gravedad.

FLOCULACIÓN - DEFINICIÓN

Cinética de la floculación

Los contactos se forman por :

- Bombardeo de partículas (movimiento browniano). Solo influye en partículas menores de 1 micrón (duración 6-10 segundos).
- Turbulencia del líquido . Es efectivo en partículas mayores de 1 micrón (duración 20-30 minutos).

CI51-K-2011

U.de Chile

5

FLOCULACIÓN - DEFINICIÓN

- La primera es independiente del tamaño de la partícula (partícula menor 1 micrón) y es función directa del cuadrado del número de ellas y de la constante de Boltzmann. Solo actúa al comienzo del proceso durante los primeros 6 a 10 segundos, pues tan pronto como se alcanzan tamaños del orden de 10 micrones un gradiente de velocidad de $0,01 \text{ s}^{-1}$ iguala a la efectividad de los contactos producidos por difusión.

CI51-K-2011

U.de Chile

6

FLOCULACIÓN - DEFINICIÓN

- La segunda está determinada por los gradientes de velocidad inducidos por la turbulencia en la masa líquida, y es la que actúa durante el resto del proceso (20 a 30 minutos).
- A la primera se la ha denominado floculación pericinética y a la segunda floculación ortocinética.

CI51-K-2011

U.de Chile

7

FLOCULACIÓN - TIEMPO DE DETENCIÓN

$$T_d = V/Q$$

- T_d , tiempo de detención
- V , Volumen
- Q , caudal
- El rango de tiempos de detención óptimos para floculación varía entre 6 y 30 minutos.

CI51-K-2011

U.de Chile

8

FLOCULACIÓN - GRADIENTE DE FLOCULACIÓN

$$G = (P/\mu)^{1/2}$$

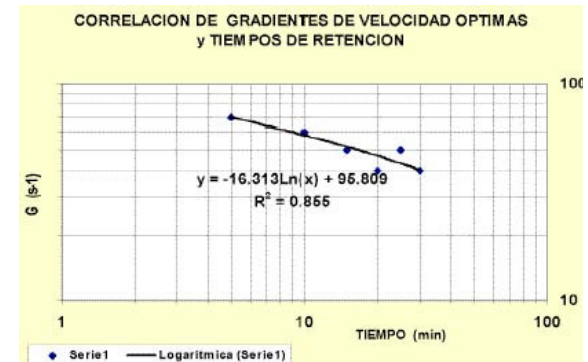
- Donde P es la potencia total disipada en el floculador dividida por el volumen total del reactor, y μ es la viscosidad absoluta. En la práctica actual, G (gradiente de velocidad) y T (tiempo de retención hidráulico) son los parámetros de diseño para los floculadores reales.
- Cada gradiente de velocidad optimiza con un tiempo de retención específico. La máxima eficiencia se obtiene con un desarrollo decreciente de gradientes. El rango de gradientes óptimos para floculación varía entre 70 s⁻¹ y 20 s⁻¹. Gradientes menores implican la sedimentación del floc en los floculadores.

CI51-K-2011

U.de Chile

9

FLOCULACIÓN - GRADIENTES Y TIEMPOS DE DETENCIÓN

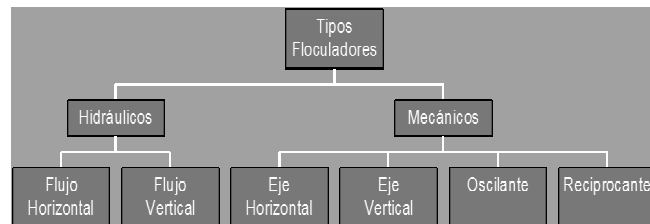


CI51-K-2011

U.de Chile

10

FLOCULADORES - TIPOS



CI51-K-2011

U.de Chile

11

FLOCULADORES - TIPOS - HIDRÁULICOS

- Flujo Horizontal
- Mezcla lenta por la pérdida de carga que se produce principalmente en las curvas, cambios de dirección del flujo.
- Flujo Vertical
- Mezcla lenta por la pérdida de carga que se produce principalmente en las curvas, cambios de dirección del flujo.

CI51-K-2011

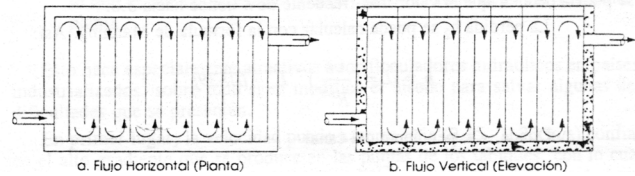
U.de Chile

12

FLOCULADORES - TIPOS - HIDRÁULICOS

■ Flujo horizontal

Flujo Vertical



CI51-K-2011

U.de Chile

13

FLOCULADORES - TIPOS - HIDRÁULICOS



■ Flujo horizontal

CI51-K-2011

U.de Chile

14

FLOCULADORES - TIPOS - HIDRÁULICOS

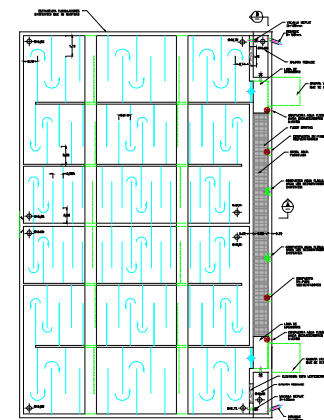


CI51-K-2011

U.de Chile

15

FLOCULADORES - TIPOS - HIDRÁULICOS



FLOCULADORES - TIPOS - MECÁNICOS

- Eje Horizontal
- Mezcla lenta que se produce por el movimiento de paletas.
- Eje Vertical
- Mezcla lenta que se produce por el movimiento de paletas.

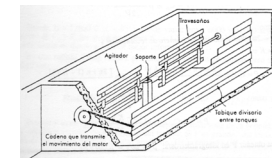
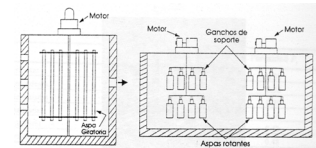
CI51-K-2011

U.de Chile

17

FLOCULADORES - TIPOS - MECÁNICOS

- Floculación de Eje vertical
- Floculación de eje horizontal



CI51-K-2011

U.de Chile

18

FLOCULADORES - TIPOS - MECÁNICOS

- Floculación de Eje vertical



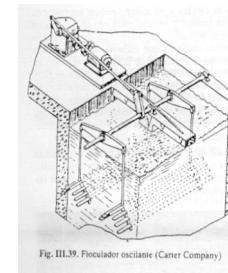
CI51-K-2011

U.de Chile

19

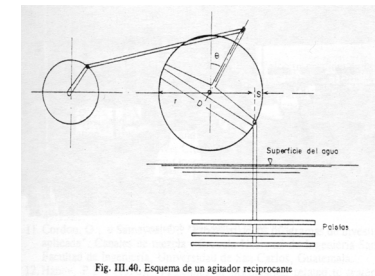
FLOCULADORES - TIPOS - MECÁNICOS

- Oscilante



CI51-K-2011

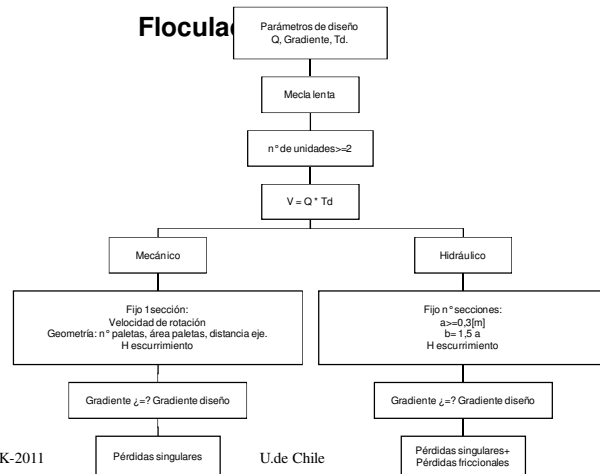
- Reciprocante



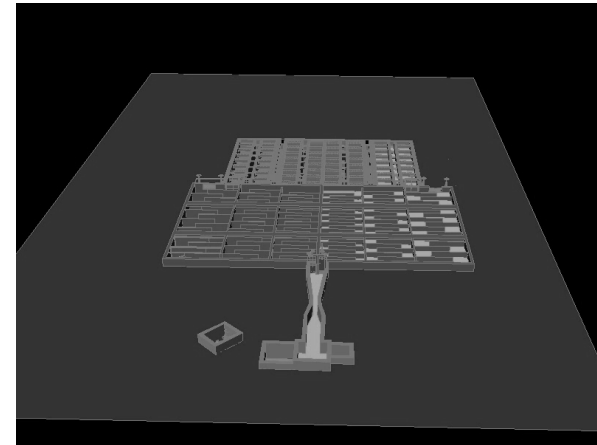
U.de Chile

20

FLOCULADORES - DIMENSIONAMIENTO



Unidades de Floculación hidráulica



CI51-K-2011

U.de Chile

22

FLOCULACIÓN FLOCULADORES HIDRÁULICOS

Volumen

- En todos los floculadores el volumen se determina como:

$$V = Q * Td$$

Q, caudal

Td, tiempo de detención

CI51-K-2011

U.de Chile

23

FLOCULACIÓN FLOCULADORES HIDRÁULICOS

Pérdidas de Carga

- En los floculadores hidráulicos, la energía requerida para la agitación de la masa de agua se obtiene de la pérdida de carga que se produce en la unidad. Esta pérdida de carga tiene tres causas fundamentales:
 - h11, por cambio de dirección y turbulencias.
 - h12, ensanchamiento y contracción de la sección de escurrimiento.
 - h2, por la fricción en los tramos rectos.
- La suma de estas pérdidas constituye la pérdida de carga total.
- En los floculadores de flujo horizontal, la suma de la pérdida de carga por cambio de dirección y turbulencia más la pérdida debida al ensanchamiento y contracción de la sección es proporcional a la altura de velocidad $v^2/2g$.

CI51-K-2011

U.de Chile

24

FLOCULACIÓN FLOCULADORES HIDRÁULICOS

Pérdidas de Carga

- Así se tiene : $h_1 = h_{11} + h_{12} = K \cdot N \cdot v^2 / 2g$
- Donde:
- K = Constante empírica $\approx 3,5$
- N = Número de tabiques
- v = Velocidad media del flujo
- La pérdida de carga por fricción en los tramos rectos se puede calcular con la fórmula de Manning:
- $h_2 = (v \cdot n)^2 / R^{4/3} \cdot L$
- Donde:
- n = Coeficiente de rugosidad de Manning = 0,013 - 0,015 (dependiendo del material)
- R = Radio Hidráulico (m).
- L = Longitud del canal (m).
- La pérdida de carga h_1 es la que predomina y puede representar hasta el 90% de la pérdida total.

CI51-K-2011

U.de Chile

25

FLOCULACIÓN FLOCULADORES HIDRÁULICOS

Gradiente de Velocidad

- La potencia disipada por unidad de volumen en floculadores hidráulicos se determina mediante la siguiente expresión :
- $P = g \cdot h / T$
- Donde:
- P = Potencia disipada por unidad de volumen (gr / cm²-s).
- h = Pérdida de carga (cm)
- T = Tiempo de retención (seg)
- g = Densidad del líquido (gr / cm³)
- El gradiente de velocidad se calcula según la siguiente expresión:
- $G(s-1) = (P / \mu)^{1/2}$
- Para $t = 10^\circ \text{C}$, $\mu = 0,00001335 \text{ gr-s/cm}^2$

CI51-K-2011

U.de Chile

26

BIBLIOGRAFÍA

1. Ahumada, Gerardo, Apuntes de Curso Tratamiento de Agua Potable, U. de Chile, 2010.
2. Arboleda, Jorge, Teoría y Práctica de la Purificación del Agua, 1994.
3. ASCE/AWWA, Water Treatment Plant Design, 1990.
4. AWWA, Calidad y Tratamiento del Agua, 2002.
5. CEPIS, Tratamiento de agua para consumo humano, Plantas de Filtración Rápida, 2004.
6. Di Bernardo, Luiz, Métodos e Técnicas de Tratamento de Agua, ABES, 1993.
7. Ministerio de Desarrollo Económico, Colombia, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000.
8. MDDEP, Québec, Guide de conception des installations de production d'eau potable, 2006.
9. Paes Leme Francilio, Teoría e Técnicas de Tratamiento de Agua, 1979.

CI51-K-2011

U.de Chile

27