

III. TEORIA SOBRE FLOCULACION.

La floculación es la agitación lenta con el fin de aumentar la posibilidad de contacto entre partículas, después de la adición de productos químicos. Un mayor contacto entre partículas favorece la formación de flóculos; sin embargo, si la agitación fuese demasiado fuerte, los esfuerzos cortantes que se producen romperán el flóculo en partículas más pequeñas. La agitación debe controlarse con mucho cuidado de modo que los flóculos sean del tamaño adecuado y se depositen rápidamente.

3.1 FLOCULACION.

Hay que distinguir dos aspectos fundamentales en la coagulación-floculación del agua:

- a) La desestabilización de las partículas suspendidas, o sea, la remoción de las fuerzas que las mantienen separadas.
- b) El transporte de ellas dentro del líquido para que hagan contacto, generalmente estableciendo puentes entre si y formando una malla tridimensional de coágulos porosos.

La coagulación comienza en el mismo instante en que se agregan los coagulantes al agua y dura solamente fracciones de segundo.

La floculación es el fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para formar coágulos mayo-

res.

En la floculación debe distinguirse entre: floculación ortocinética y floculación pericinetica.

La primera es la inducida por la energía comunicada al líquido por fuerzas externas (paletas giratorias, por ejemplo). La segunda es la promovida, internamente dentro del líquido, por el movimiento de agitación que las partículas tienen dentro de aquél (movimiento browniano) y por la gravedad o peso de las partículas que al caer tienden a aglomerarse, y se realiza en un tiempo muy corto después de desestabilizada la partícula.

Puede ser que el floculo formado por la aglomeración de varios coloides no sea lo bastante grande como para asentarse o desecarse con la rapidez deseada. Un floculante reúne partículas floculadas en una red, formando puentes de una superficie a otra y enlazando las partículas individuales en aglomerados. El alumbre, las sales de hierro y los polímeros de peso molecular alto son floculantes comunes.

Una vez dispersados los coagulantes hay que producir una lenta agitación en el agua para permitir el crecimiento del floc. Este crecimiento es inducido por el contacto entre partículas de diámetro mayor de una micra creado por el gradiente de velocidad de la masa líquida.

Tres características esenciales deben estudiarse en toda floculación:

- a) La forma de producir la agitación
- b) El gradiente de velocidad

c) El tiempo de detención

Los dos objetivos básicos que se persiguen son:

1. Reunir los microflóculos para formar partículas mayores con peso específico superior al agua.
2. Compactar el floc (disminuyendo su grado de hidratación) para producir una baja concentración volumétrica, que permita una alta eficiencia en la fase de separación.

Es muy importante tener en cuenta al respecto que la materia sólida en el floc representa de 2 a 11 % de su volumen, y que el grado de hidratación depende del gradiente de velocidad que se comuniqua a la masa líquida, lo cual influye en el peso específico de las partículas formadas y su velocidad de asentamiento.

3.2 CLASIFICACION DE LOS FLOCULADORES.

Los floculadores se clasifican de acuerdo a la energía utilizada para producir la agitación en: mecánicos e hidráulicos.

Los floculadores hidráulicos, según el sentido del flujo se clasifican en: de flujo horizontal, de flujo vertical y de flujo helicoidal.

Los floculadores mecánicos, según el sentido del movimiento, se clasifican en reciprocantes y rotatorios.

3.3 FLOCULADORES HIDRAULICOS.

Los floculadores hidráulicos derivan su energía para la agitación de la masa líquida, de la carga de velocidad que el flujo adquiere al escurrir por un conducto. Puede ser de tabiques o de flujo helicoidal.

3.3.1. FLOCULADOR DE TABIQUES.

G

Estos floculadores consisten en tanques provistos de pantallas en los cuales el agua circula con una velocidad fija, produciendo cierta turbulencia en cada cambio de dirección.

Los más comunes son los de flujo horizontal y los de flujo vertical. En los primeros el flujo va y viene alrededor de los tabiques haciendo un giro de 180° al final de cada uno. En los segundos, el flujo sube y baja en condiciones similares. En ambos casos se produce una pérdida de carga hf. Los floculadores de flujo vertical son más compactos que los de flujo horizontal debido a que pueden hacerse más profundos y por lo tanto requieren menor área superficial.

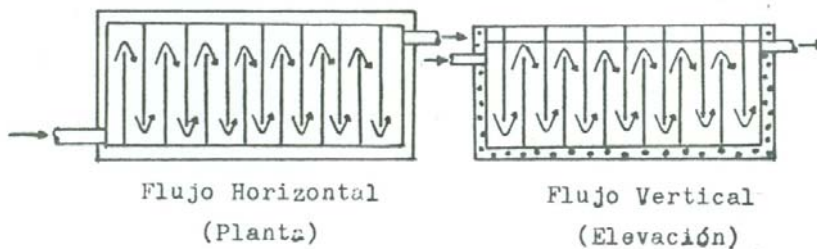


Fig. 3.1 Floculador hidráulico de Tabiques

3.3.2. FLOCULADORES DE FLUJO HELICOIDAL.

Los floculadores hidráulicos con flujo helicoidal son poco usados. El flujo entra en la celda por dos orificios diametralmente opuestos, creando un par mecánico que imprime un movimiento de rotación a la masa líquida. Como el tiempo de detención en cada celda es limitado, deben usarse una serie de celdas para obtener un tiempo de detención adecuado. La comunicación entre las celdas se hace por medio de un vertedero ahogado y el flujo en ellas es ascendente en una y descendente en la siguiente.

3.3.3. GRADIENTE DE VELOCIDAD EN FLOCULADORES HIDRAULICOS.

La potencia disipada en floculadores hidráulicos se calcula como en el caso de los mezcladores hidráulicos:

$$P = \frac{Qhf}{V} = \frac{vhf}{l} \quad (3.1)$$

donde: l es la longitud a la cual se produce la pérdida de carga hf .

$$\text{como: } \frac{Q}{V} = \frac{1}{t_0} \quad P = \frac{rhf}{t_0} \quad (3.2)$$

donde: t_0 = tiempo nominal de detención
 hf = pérdida de carga

A partir de P se calcula G, así:

$$G = \frac{P}{m} = \frac{vhfr}{ml} \quad (3.3)$$

Los valores de G en floculadores de pantallas generalmente están en el rango de 10 y 100 seg^{-1} y más frecuentemente entre 30 y 60 seg^{-1} .

La potencia unitaria disipada y el gradiente de velocidad, dependen de la pendiente hidráulica hf/l , o sea que cuanto mayor pérdida de carga se produzca en la distancia l , mayor gradiente de velocidad se consigue.

3.4 FLOCULADORES MECANICOS.

Los floculadores mecánicos son aquellos que requieren una fuente de energía externa que mueva un agitador en un tanque o una serie de tanques, en donde el agua permanece un tiempo teórico de detención t_0 .

Según el sentido del movimiento del agitador se clasifican en: giratorios y reciprocantes.

3.4.1. FLOCULADORES GIRATORIOS.

Los floculadores giratorios constan de un sistema de paletas adheridas a un eje horizontal o vertical, el cual gira impulsado por un motor eléctrico desplazando el agua y produciendo un

trabajo. Fig.(3.2).

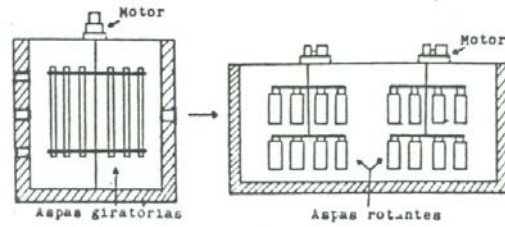


Fig. 3.2 Floculador Giratorio

Los agitadores pueden tener dos, tres o cuatro brazos y en cada brazo puede haber dos, tres o más paletas o travesanos unidos por una pieza central al eje. Pueden colocarse perpendicular a la dirección del flujo o paralelo a éste, con el objeto de disminuir los cortocircuitos.

El número de agitadores y de paletas determina la energía comunicada al líquido.

Los floculadores de turbina son más compactos y pueden generar mayor energía cuando son operados a alta velocidad. Consisten en un eje en el cual va colocada una serie de discos giratorios provistos de aletas. La velocidad de rotación es mayor que en los floculadores de paletas y tiene por eso menor tendencia a comunicar un movimiento de rotación a la masa de agua. Son por lo común de menor costo y pueden acomodarse en tanques alargados. Fig.(3.3)

El principal defecto de los floculadores mecánicos es la facilidad con que producen cortocircuitos, reduciendo notablemente el tiempo que permanece retenido el flujo en el tanque, con lo que disminuye la eficiencia del proceso.

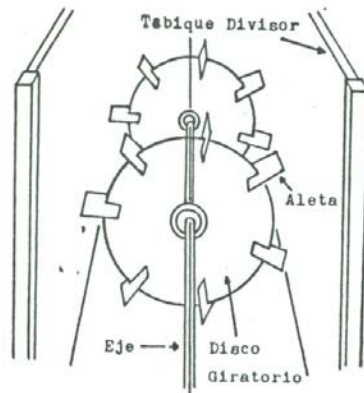


Fig. 3.3 Floculador de Turbina

3.4.2. POTENCIA EN FLOCULADORES MECANICOS GIRATORIOS.

En los agitadores mecánicos de paletas y turbinas, el área de las caras planas de los travesaños o aletas, es constante; y la única forma de variar la energía comunicada al líquido es variando la velocidad de rotación del eje.

Segun Camp (6), la fuerza de roce originada por el movimiento del líquido es igual a:

$$Fr = C_D A d \frac{(V_2 - V_1)^2}{2} \quad (3.4)$$

donde: V_1 = velocidad de rotación del líquido

V_2 = velocidad periférica de rotación de las paletas

A = Área transversal de las paletas

y por tanto:

$$P = C_D A d \frac{(V_2 - V_1)^3}{2V} \quad (3.5)$$

Como $V_2 = 2\pi r n$, donde n es el número de revoluciones y $V_1 = KV_2$

$$P = C_D A d \frac{(2\pi r n - 2\pi r n K)^3}{2V} = C_D A d \frac{[2\pi r n (1-K)]^3}{2V} \quad (3.6)$$

por tanto:

$$P = 124 C_D A d r^3 \frac{(1-K)^3 n^3}{V} \quad (3.7)$$

Para obtener P en Kilogrametros/seg : $d = \frac{w}{g} = \frac{1000}{9.81}$; $n = \text{rps}$; $r = \text{mts}$

$$A = \text{m}^2 ; V = \text{m}^3$$

$$P = 12600 C_D n^3 \frac{(1-K)^3}{V} A r^3 \quad \text{para una sola paleta} \quad (3.8)$$

$$P = 12600 C_D n^3 \frac{(1-K)^3}{V} \sum A r^3 \quad \text{para varias paletas} \quad (3.9)$$

$A r^3$ = suma de los productos del área de las paletas A por su distancia al eje de rotación r al cubo.

Segun Rouse (13) para secciones rectangulares que se desplazan en el agua, el valor de C_D puede estimarse así:

L/a	NRe	C _D	
1	>10 ³	1.16	L=longitud de la paleta
5	>10 ³	1.20	a=ancho de la paleta
20	>10 ³	1.50	NRe=número de Reynolds
	>10 ³	1.95	

Para los valores de K, Camp establece que éstos varían entre 0.24 y 0.32. Fair (7) sugiere un valor de K=0.25.

La fórmula para la potencia puede reescribirse así:

$$P = 12600C_D \frac{(1-K)^3}{V} n^3 Ar^3 = \alpha n^3 \frac{(\sum Ar^3)}{V} \quad (3.10)$$

Donde $\alpha = 12600C_D(1-K)^3$ y puede variar entre 6000 y 10000, según los valores de C_D y K.

Por tanto:

$$P = \alpha n^3 \frac{(\sum Ar^3)}{V} \quad (3.11)$$

3.4.3. GRADIENTE DE VELOCIDAD

El gradiente de velocidad en floculadores mecánicos giratorios es igual a:

$$G = \left[\frac{P}{m} \right]^{1/2} \quad (3.12)$$

donde: m está expresada en poises.

Como sucede con los floculadores hidráulicos, el gradiente

de velocidad en los floculadores mecánicos se distribuye en forma muy desigual en la masa de agua. En las paletas mas alejadas del eje, el gradiente es varias veces mayor que en las paletas cercanas al eje o junto al eje. El floc está por eso rompiéndose y volviéndose a formar continuamente. Este fenómeno se acentúa más cuando se usan turbinas cuya velocidad de rotación es mayor.

6

3.4.4. FLOCULADORES RECIPROCANTES.

El uso de este tipo de agitadores es menos común que el de floculadores con agitadores giratorios.

Los agitadores reciprocantes consisten esencialmente de una parrilla, serie de parrillas o cintas colocadas en un balancín, de modo que se desplazan verticalmente hacia arriba y hacia abajo dentro del agua, comunicando un movimiento de agitación al líquido.

La velocidad de las paletas al desplazarse verticalmente varia durante el recorrido al igual que la velocidad relativa de las paletas con respecto al agua.

Camp (6) deduce las fórmulas básicas para el cálculo de la energía y el gradiente de velocidad en este tipo de floculadores.

La distancia recorrida es igual a: $s = r \cos \theta$ y la velocidad vertical de las paletas es:

$$v = \frac{ds}{dt} = r \operatorname{sen} \theta \frac{d\theta}{dt} = 2\pi r n \operatorname{sen} \theta \quad (3.13)$$

El trabajo producido por ciclo es igual al producto de la fuerza de roce F_r por la velocidad v .

$$\text{La fuerza de roce es igual a: } F_r = C_D A d \frac{v^2}{2} \quad (3.14)$$

Procediendo en forma similar al caso de los agitadores rotatorios, se obtiene que la potencia disipada P es igual a:

$$G \quad P = \frac{2}{3} \pi^2 d C_D \Sigma A D^3 n^3 \quad (3.15)$$

Para expresar esta potencia en Kilográmetros $d = 1000/9.81$

$$P = 680 \frac{C_D}{v} D^3 n^3 \Sigma A \quad (3.16)$$

El gradiente de velocidad será igual a:

$$G = \left[\frac{68 \times 10^3 981 C_D D^3 n^3 \Sigma A}{mv} \right]^{1/2} = 258 \times 10^3 \left[\frac{C_D D^3 n^3 \Sigma A}{mv} \right]^{1/2} \quad (3.17)$$

Donde: $m = \text{poises}$

$D = \text{metros}$

$A = \text{m}^2$

$v = \text{m}^3$

$G = \text{seg}^{-1}$

Camp sugiere un valor de $C_D = 3.0$.