

17
29



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE QUIMICA

**DISEÑO DE MEZCLA RAPIDA, FLOCULACION Y
SEDIMENTACION EN UNA PLANTA POTABILIZA-
DORA, MEDIANTE PROGRAMAS DE COMPUTO**



**EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA**

**T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :
MARINA GUADALUPE CORAS GARCIA**



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

C O N T E N I D O

	Pág.
INDICE	I
LISTA DE FIGURAS	II
LISTA DE TABLAS	III
NOMENCLATURA	IV
RESUMEN	1
1. INTRODUCCION	3
1.1 <i>Antecedentes</i>	3
1.2 <i>Objetivos</i>	4
1.3 <i>Alcances</i>	4
2. MEZCLA RAPIDA Y MEDICION	5
2.1 <i>Fundamentos</i>	5
2.2 <i>Tipos de mezcladores</i>	8
2.3 <i>Canal Marshall</i>	10
2.3.1 <i>Ecuaciones de diseño</i>	10
2.3.2 <i>Datos necesarios para el diseño</i>	17
2.3.3 <i>Formulaciones de diseño</i>	18

	Pág.	
2.3.4	Secuencia de cálculo del programa desarrollado	19
2.3.5	Diagrama de flujo	20
2.3.6	Ejemplo de cálculo	21
3.	FLOCULACION	22
3.1	Fundamentos	22
3.1.1	Tipos de floculación	23
3.1.2	Modelos para la definición de ecuaciones	24
3.1.2.1	Modelo de Harris	24
3.1.2.2	Modelo de Hudson	25
3.2	Factores que influyen en el proceso	27
3.2.1	Interacciones entre las variables	27
3.2.2	Calidad del agua	29
3.2.3	Número de compartimentos	31
3.2.4	Gradiente de velocidad	33
3.3	Clasificación de floculadores	39
3.4	Floculadores hidráulicos de pantallas	41
3.4.1	Floculadores hidráulicos de flujo horizontal y vertical	43
3.4.2	Ecuaciones de diseño	44
3.4.2.1	Floculador de pantallas de flujo horizontal	44
3.4.2.2	Floculador de pantallas de flujo vertical	45
3.4.3	Criterios de diseño	46

	Pág.	
3.4.4	Secuencia de cálculo del programa desarrollado	47
3.4.5	Diagrama de flujo de floculador hidráulico de pantallas de flujo horizontal y vertical	49
3.4.6	Ejemplos de cálculo	50
3.4.6.1	Resultados de la corrida para el diseño de floculadores hidráulicos de pantallas con flujo horizontal	50
3.4.6.2	Resultados de la corrida para el diseño de floculadores hidráulicos de pantallas con flujo vertical	52
3.5	<i>Floculadores mecánicos</i>	53
3.5.1	De paletas paralelas	53
3.5.2	Ecuaciones de diseño	57
3.5.2.1	De eje vertical y paletas paralelas al eje	57
3.5.3	Criterios de diseño	57
3.5.4	Secuencia de cálculo del programa desarrollado	59
3.5.5	Diagrama de flujo del floculador mecánico de eje vertical con paletas paralelas al eje y con paletas perpendiculares al eje	60
3.5.6	Ejemplos de cálculo	61
3.5.6.1	Resultados de la corrida para el diseño de floculadores mecánicos de eje vertical con paletas perpendiculares al eje	61
3.5.6.2	Resultados de la corrida para el diseño de floculadores mecánicos de eje vertical con paletas paralelas al eje	62

	Pág.
4. SEDIMENTACION	63
4.1 Fundamentos	63
4.2 Zonas del sedimentador	69
4.3 Sedimentación de alta tasa	70
4.3.1 Modelo de Yao	74
4.3.2 Parámetros de diseño	74
4.3.3 Sedimentador de placas paralelas inclinadas, re- partición uniforme, tolva de recolección de lodos y extracción por carga hidráulica	80
4.3.3.1 Criterios de diseño	81
4.3.3.2 Secuencia de cálculo del programa desa- rrollado	83
4.3.3.3 Formulas de diseño	86
4.3.3.4 Diagrama de flujo	92
4.3.3.5 Ejemplo de cálculo	100
5. CONCLUSIONES	105
6. BIBLIOGRAFIA	107
6.1 Referencias Citadas	107
6.2 Referencias Consultadas	108
APENDICE	110

I N D I C E

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	II
LISTA DE TABLAS	III
NOMENCLATURA DE ECUACIONES DE DISEÑO DEL PROGRAMA DE COMPUTO. MEZCLA RAPIDA Y MEDICION	IV
NOMENCLATURA DE ECUACIONES DE DISEÑO DEL PROGRAMA DE COMPUTO. FLOCULACION HIDRAULICA DE PANTALLAS, FLUJO HORIZONTAL Y FLUJO VERTICAL	V
NOMENCLATURA DE ECUACIONES DE DISEÑO DEL PROGRAMA DE COMPUTO. FLOCULACION MECANICA DE EJE VERTICAL CON PALETAS PARALELAS Y PERPENDICULARES AL EJE	VI
NOMENCLATURA DE ECUACIONES DE DISEÑO DEL PROGRAMA DE COMPUTO. SEDIMENTACION DE ALTA TASA CON PLACAS PARALELAS INCLINADAS DE FLUJO ASCENDENTE CON REPARTICION UNIFORME DEL INFLUYENTE CON TOLVA DE RECOLECCION DE LODOS Y EXTRACCION POR CARGA HIDRAULICA	VII

LISTA DE FIGURAS

No. de Figura		Pág.
1	Topología típica de potabilización	6
2	Tipos de resalto hidráulico	12
3	Carga hidráulica disponible	12
4	Resalto hidráulico en el Parshall	15
5	Medidor y mezclador Parshall	19
6	Floculador hidráulico de pantallas, flujo horizontal	42
7	Floculador hidráulico de pantallas, flujo vertical	42
8	Floculador mecánico de eje vertical con paletas paralelas al eje	54
9	Floculador mecánico de eje vertical con paletas perpendiculares al eje	54
10	Trayectoria de sedimentación de una partícula	72
11	Esquema de un sedimentador de láminas paralelas inclinadas a 60°.	80

LISTA DE TABLAS

Pág.	No. de Tabla		
8	I	Tiempo de contacto y gradiente de velocidad para mezcla rápida	
13	II	Clasificación de saltos	
35	III	Microescala de turbulencia en función de G	
40	IV	Clasificación general de floculadores	

NOMENCLATURA DE ECUACIONES DE DISEÑO DEL PROGRAMA DE COMPUTO.
MEZCLA RAPIDA Y MEDICION

Q	Caudal de diseño (m^3/s)
$k = M$	Parámetro estandar en función del ancho de garganta
$m = N1$	Parámetro estandar en función del ancho de garganta
$H_o = HO$	Nivel del agua, sección de medición (m)
W	Ancho de garganta (m)
D	Ancho del canal, sección entrada (m)
$D' = D1$	Longitud del canal, sección de medición (m)
$V_o = VO$	Velocidad, sección medición (m/s)
$q = Q1$	Caudal específico en garganta ($m^2/s/m$)
$g = GG$	Aceleración de la gravedad (m/s^2)
$\theta = TE$	Angulo
$E_o = EO$	Carga hidráulica disponible, sección medición (m)
$V_1 = V1$	Velocidad, antes del resalto (m/s)
$h_1 = H1$	Nivel del agua, antes del resalto (m)
$F_1 = F1$	Número de Froude
$h_2 = H2$	Nivel del agua en el resalto (m)
$V_2 = V2$	Velocidad en el resalto (m/s)
N	Profundidad de la depresión en la garganta bajo la cresta (m)
K	Diferencia de niveles entre la parte final más baja del canal y la cresta (m)
$h_3 = H3$	Nivel en la sección de salida (m)
C	Ancho del canal de salida (m)
$V_3 = V3$	Velocidad en sección de salida (m/s)
$h_d = HP$	Pérdida de carga en el resalto (m)
T	Tiempo de mezclado (seg)
$G = GV$	Gradiente de velocidad (s^{-1})
$\alpha = p$	Densidad del agua (kg/m^3)
$\mu = v$	Viscosidad del agua ($kg-s/m^2$)

NOTA: Las segundas variables corresponden a la representación en el programa de cómputo.

NOMENCLATURA DE ECUACIONES DE DISEÑO DEL PROGRAMA DE COMPUTO.
 FLOCULACION HIDRAULICA DE PANTALLAS, FLUJO HORIZONTAL Y FLUJO
 VERTICAL.

V	Volumen total del floculador (m^3)
Q	Gasto del floculador (m^3/s)
T	Tiempo de floculación total (min)
H	Profundidad del floculador (m)
A	Ancho total del floculador (m)
L	Longitud del floculador
$G = G(I)$	Gradiente de velocidad (supuesto) (s^{-1})
$t = Tl$	Tiempo de floculación en cada cámara (min)
$L4 = N$	Número de cámaras
$n = N(I)$	Número de canales entre pantallas
$e = E(I)$	Espaciamiento entre pantallas (m)
$V_1 = V1(I)$	Velocidad en canales entre chicanas (m/s)
$V_2 = V2(I)$	Velocidad en los pasillos (m/s)
$L' = L1(I)$	Extensión total de canales (m)
$R_H = R(I)$	Radio hidráulico (m)
$m = M$	Coefficiente de Manning
$h_p^1 = H1(I)$	Pérdida de carga continua (m)
$h_p^2 = H2(I)$	Pérdida de carga en los giros de 180° (m)
$h_p = HT$	Pérdida de carga total (m)
$t = Tl$	Tiempo de floculación en cada cámara (seg)
$G = G1(I)$	Gradiente de velocidad (calculado) (s^{-1})
$\gamma = PE$	Densidad del agua (gm/cm^3)
$\mu = VS$	Viscosidad del agua ($kg-s/m^2$)

NOTA: Las segundas variables corresponden a la representación en el programa de cómputo.

NOMENCLATURA DE ECUACIONES DE DISEÑO DEL PROGRAMA DE COMPUTO.
 FLOCULACION MECANICA DE EJE VERTICAL CON PALETAS PARALELAS Y
 PERPENDICULARES AL EJE.

Q	Gasto de diseño (m^3/s)
T	Tiempo de floculación (min)
V	Volumen total del floculador (m^3)
$W = NC$	Número de cámaras
$v = V1$	Volumen de cada cámara (m^3)
$H = P$	Profundidad del floculador (m)
L^*	Lado de cada cámara (m)
K	Relación velocidad del agua y de paletas
$G = G(I)$	Gradiente de velocidad (s^{-1})
$\mu = \mu S$	Viscosidad del agua ($kg-s/m^2$)
CD	Coefficiente de arrastre
$b = B = B(I)^*$	Ancho de la paleta (m)
$l = L = L(I)^*$	Longitud de la paleta (m)
$W_1 = NP$	Número de paletas en cada posición
$r_c = R(I)$	Distancia de las paletas al eje (m)
$n = NP1 = N^*$	Velocidad de rotación (r.p.s.)
$V = VT$	Velocidad tangencial máxima (m/s)
$P = P(I)$	Potencia aplicada al agua (Hp)
$P_u = PM(I)$	Potencia del motor eléctrico (Hp)
μ^*	Altura útil del tanque de floculación (m)

NOTA: Las segundas variables corresponden a la representación en el programa de cómputo.

NOMENCLATURA DE ECUACIONES DE DISEÑO DEL PROGRAMA DE COMPUTO SEDIMENTACION DE ALTA TASA CON PLACAS PARALELAS INCLINADAS DE FLUJO ASCENDENTE, CON REPARTICION UNIFORME DEL INFLUENTE CON TOLVA DE RECOLECCION DE LODOS Y EXTRACCION POR CARGA HIDRAULICA

Q	Gasto total (m ³ /s)
N	Número de unidades de sedimentación
l_u	$l_u = l - \frac{e}{\tan \theta}$
l	Longitud de la placa (cm)
θ	Inclinación de las placas (grados)
e	Separación entre placas (cm)
C	Coefficiente de flujo de transición (constante)
v	Viscosidad (stokes)
V_s	Velocidad de sedimentación (cm/s)
R_H	$R_H = \frac{bc}{2(b+e)}$
V_o	Velocidad media en el módulo (cm/s)
b	Ancho de la placa útil (m)
N_1	Número de hileras de placas
e_1	Espesor de las placas (m)
N_2	Número de placas por hilera
h_i	Distancia entre placas y fondo (m)
C_1	Constante
k	Constante (de gráfica)
d_s	Densidad de floc (g/cm ³)
d	Tamaño de floc (cm)
D	Diámetro a la entrada (m)
b_1	Ancho del canal (m)
h	Altura del canal (m)
P	(constante)
Th	(constante)
g	9.81 m/s ² (constante de gravedad)
ρ	Densidad (kg/s ² /m ⁴)
μ	Viscosidad (kg/s/m ²)
N_1'	Número de secciones

N5	Número de orificios por sección
d_o	Diámetro del orificio (m)
D	Diámetro del conducto (m)
d_1	Diámetro en el 1er. tramo (m)
H	Carga de agua en el tanque (m)
ec	Espesor de la losa sobre el tubo (m)
hd	Altura desde el tubo hasta el eje de salida (m)
f	Coefficiente de fricción (Diagrama Universal de Moody)
D_o	Diámetro del tubo de acero (m)
L	Longitud del tubo de acero (m)
k_c	Constante
k_c	Constante
E	Coefficiente de rugosidad para tubo de acero (m)
C_2	$C_2 = D_o/N_u$
N_u	Coefficiente de viscosidad (m^2/s)
L_n	Longitud real de la unidad (m)
d_2	Diámetro del segundo tramo (m)
gasto de sección	$\frac{\text{Gasto/módulo}}{\text{Número de secciones}} \quad (m^3/s)$
Longitud de canaleta	(m)
Secciones	Secciones del sedimentador
b2	Ancho de la canaleta (m)
L2	Largo de la canaleta (m)

RESUMEN

En este estudio se desarrollan programas de cómputo, que, con base en las ecuaciones de diseño, permiten diseñar las operaciones unitarias que conforman una planta convencional de tratamiento de agua potable los procesos considerados y sus especificaciones son los siguientes:

- Mezcla rápida y medición. En esta operación se consideró al canal Parshall, ya que este sistema es el más utilizado en México. El programa se basa en las ecuaciones clásicas y el diseño se ajusta a las restricciones de gradiente de velocidad y porcentaje de sumergencia.
- Floculación. Se incluyen los floculantes hidráulicos de flujo horizontal y vertical. En ambos se puede optar por una o varias cámaras de dimensiones iguales o dife-

rentes. El programa considera, entre otros, los criterios de velocidades tanto a lo largo de las pantallas como en los giros, los tiempos de retención y el gradiente de velocidad en cada cámara. La floculación mecánica considera los de eje vertical u horizontal de paletas paralelas al eje. En ambos se considera un largo igual o ancho. El programa se ajusta a los criterios de velocidad rotacional y tangencial de las paletas.

- Sedimentación. Sedimentación de alta tasa con placas paralelas inclinadas de flujo ascendente, con repartición uniforme del influente, con tolva de recolección de lodos y extracción por carga hidráulica. El programa considera el diseño de las cuatro zonas que son: zona de entrada y distribución de agua, zona de sedimentación, zona de salida y recolección de agua clarificada y zona de recolección de lodos. En la repartición uniforme se contempla las alternativas de canal y tubería con orificios. En esta última el número de orificios debe ser un múltiplo entero del número de tramos que tengan diferente diámetro.

1. INTRODUCCION

1.1 *Antecedentes*

La diversidad de fuentes de abastecimiento de agua potable y la variabilidad de los procesos de potabilización, así como el panorama actual nacional en cuanto al diseño y la supervisión de la operación de plantas potabilizadoras, nos obligan a considerar como un problema prioritario la realización de un programa computarizado que permita calcular, dimensionar y seleccionar las principales unidades de proceso para el diseño de plantas potabilizadoras en forma inmediata, enfatizando que este tipo de herramienta constituye una aportación práctica a la Ingeniería Ambiental.

1.2 *Objetivos*

El objetivo de este estudio es: desarrollar un programa computacional que involucre los criterios utilizados en las distintas alternativas de diseño, para lo cual se establecieron metodologías de cálculo acorde con el Programa Regional Organización Panamericana de la Salud/Centro de Estudios Panamericanos para la Ingeniería Sanitaria (OPS/CEPIS), de Mejoramiento de Agua para Consumo Humano.

1.3 *Alcances*

Las operaciones unitarias desarrolladas corresponden al tren de tratamiento convencional de una planta para agua potable y su versatilidad corresponde a que la estructura del programa por subrutinas permite la opción de manejar independientemente, cualquiera de las siguientes unidades: Mezcla Rápida, floculación y sedimentación.

El programa computacional contendrá todos los comentarios necesarios para su entendimiento.

El programa podrá ser procesado en máquina PC compatible a IBM.

2. MEZCLA RAPIDA Y MEDICION

2.1 *Fundamentos*

El mezclado rápido es la operación unitaria que se encarga de la completa homogenización de los químicos que se adicionan al caudal de agua. Por lo tanto, su objetivo es lograr la incorporación y dispersión uniforme de dichos químicos adicionados.

Las unidades de mezclado rápido son utilizadas al principio del tren de tratamiento. El diseño de los equipos utilizados está basado en modelos empíricos que a través del tiempo han llegado a convertirse en modelos heurísticos. De éstos, se ha desarrollado una metodología estructurada de cálculo que a través del tiempo ha llegado a conformarse como la técnica más utilizada.

La topología típica del proceso de potabilización se muestra en la figura 1. El agua a tratar es transportada a la unidad de mezclado donde los químicos desestabilizantes se adicionan y ocurre un mezclado riguroso durante un tiempo corto, normalmente de un minuto o menos (1)

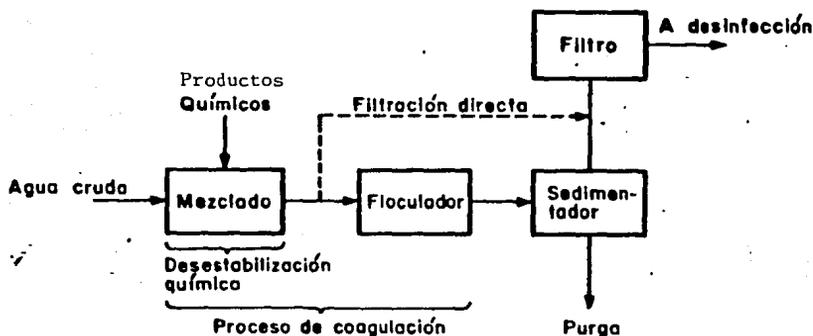


Figura 1. Topología típica de potabilización

Como puede observarse, la unidad de mezclado rápido es el inicio del proceso y existe una interrelación directa con la eficiencia de las subsecuentes operaciones unitarias.

Los criterios medulares que conforman el buen diseño de mezcladores rápidos se resumen en:

- Obtención de una dispersión y difusión uniforme de los químicos adicionados al influente, tomando en consideración los cortos tiempos de retención hidráulico.
- Determinaciones del punto óptimo de adición de químicos.

La operación de mezclado constituye uno de los problemas más serios en el tratamiento de agua, tomando en cuenta, que las cantidades del coagulante son muy pequeñas comparadas con el volumen de agua a ser tratado, del orden de 60-70 gramos de coagulante por m^3 de agua. Las dosis de sulfato de aluminio, por ejemplo son de 25 a 35 mg/l. (1)

La eficiencia de la coagulación y por lo tanto las fases subsecuentes de tratamiento está relacionada con la formación de los primeros complejos de cationes metálicos hidrolizados, cuya composición depende de las características del agua a tratar. La hidrólisis es muy rápida y para que haya una desestabilización de los coloides es indispensable la dispersión homogénea de los grumos de coagulante sobre toda la masa de agua en un tiempo muy corto: Esto implica la necesidad de suministrarlo en una región de gran turbulencia. La dispersión del coagulante se facilita cuando se diluye la solución a aplicar a un valor suficientemente bajo. En la literatura se establece que soluciones al 1% han conducido a buenos resultados. (2)

2.2 Tipos de mezcladoras

La mezcla rápida puede ser realizada por la turbulencia provocada por dispositivos mecánicos o hidráulicos. Los dispositivos mecánicos que promueven la agitación en el agua son: paletas rotativas, hélices y turbinas.

La mezcla hidráulica se realiza normalmente por medio del resalto hidráulico en canales abiertos, en canales Parshall o en cualquier punto de turbulencia elevada en canalizaciones como placas de orificio, etc.

La mezcla rápida de los coagulantes en el agua es una de las fases más importantes del tratamiento y de aquí que se han establecido valores respecto al tiempo de mezcla y grado de agitación.

El Manual AWWA (1971) sugiere tiempos de retención en la cámara de mezcla de 10-30 s con una potencia relativamente alta para producir gradientes de velocidad que varían con el tiempo de mezclado como sigue:

TABLA 1. TIEMPO DE CONTACTO Y GRADIENTE DE VELOCIDAD PARA MEZCLA RAPIDA

Tiempo de contacto (s)	20	30	40	>40
Gradiente de velocidad (s^{-1})	1000	900	790	700

Igualmente se recomienda para 1 m³ de capacidad en la cámara de mezclado una potencia de motor de 1 a 2 HP. Otros factores que intervienen para llevar a cabo la desestabilización química son: el pH del agua y su temperatura. Se recomienda un pH de 6 y una temperatura no mayor a 40°C.

Letterman et al(1) concluye que la mezcla rápida es función del tiempo de mezcla T , de la dosis de sulfato de aluminio C , y del gradiente de velocidad G y que la operación de mezcla rápida encuentra un punto óptimo en el diseño de unidades de mezclado mecánico cuando:

$$GT_{op} C^{1.46} = 5.9 \times 10^6 \quad (1)$$

donde

G = gradiente de velocidades

T_{op} = tiempo óptimo de contacto dentro de la cámara de mezclado

C = concentración del coagulante adicionado

La ec. 1 está basada en la interacción de los compuestos químicos en el agua. Con base en esto se puede decir, que la cinética química es un paso importante para las unidades de mezclado mecánico. El estado del arte refiere que, tanto la cinética como la hidrodinámica, se manejan implícitamente en los estudios experimentales, sin tener los suficientes estudios de investigación básica para cuantificar sus efectos.

En el mezclado hidráulico Hudson (1) recomienda un gradiente de velocidad lo más alto posible, un tiempo de mezcla menor a 1 seg y de preferencia, menor a 0.5 seg. Estas condiciones se cumplen automáticamente en la mayoría de los casos cuando se utiliza un resalto hidráulico para la mezcla rápida.

2.3 Canal Parshall

2.3.1 Ecuaciones de diseño

Las primeras plantas de tratamiento de agua no disponían de dispositivos especiales para la mezcla rápida. Históricamente, los primeros dispositivos para la dispersión del coagulante fueron hidráulicos.

La práctica en favor del uso de mezcladores de salto hidráulico está más generalizado que el uso de unidades mecánicas.

Los resaltos pueden ocurrir en canales horizontales o de fondo inclinado. Son utilizados frecuentemente para la mezcla rápida, los resaltos producidos en canales rectangulares por un cambio brusco de declive, en canales Parshall o en vertederos.

La limitante del canal Parshall es que, tanto para flujos muy

grandes o muy pequeños sus formulaciones de diseño no son adecuadas ya que éstas proveen valores fuera de la realidad. De aquí que el uso de la secuencia de cálculo debe ser restringido a un intervalo de valores muy bien definido del ancho de garganta establecido en tablas.

La secuencia del cálculo para el diseño del canal Parshall se basa en los valores estandares especificados en tablas para cada ancho de garganta W .

Para que ocurra un salto hidráulico, es necesario que la profundidad del agua antes y después del salto, h_1 y h_2 cumplan con la relación

$$\frac{h_2}{h_1} = 1/2 \left(\sqrt{1 + 8 F_1^2} - 1 \right) \quad (2)$$

donde

$F_1 = \frac{V_1}{gh_1}$ es el número de Froude

h_1 y h_2 son características del canal Parshall

g es la constante gravitacional

En Hidráulica se reconocen diversos tipos de salto conforme al valor del número de Froude (Fig 2).

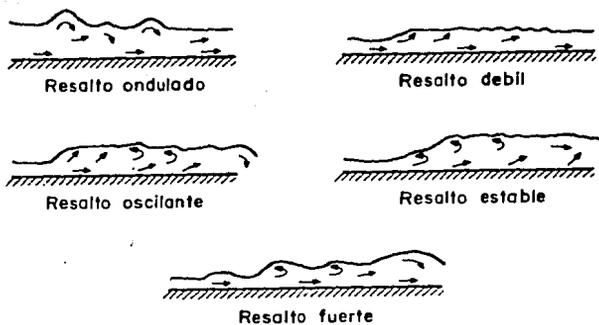


Figura 2. Tipos de resalto hidráulico

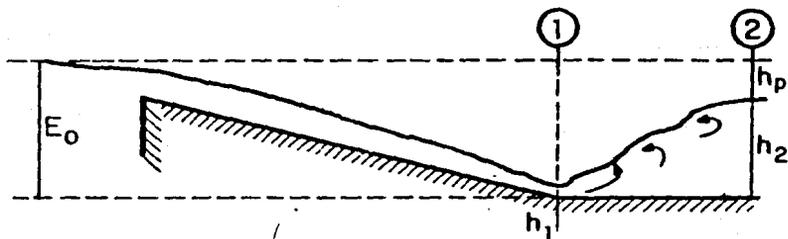


Figura 3. Carga hidráulica disponible

TABLA II. CLASIFICACION DE SALTOS

Número de Froude	Tipo de Salto
$F_1 = 1 - 1.7$	salto ondulado
$= 1.7 - 2.5$	salto débil
$= 2.5 - 4.5$	salto oscilante
$= 4.5 - 9.0$	salto estable
> 9.0	salto fuerte

El salto estable con número de Froude entre 4.5-9 corresponde a una energía disipada de 3.5 - 7.0 HP por m^3/s de capacidad y un tiempo de mezcla alrededor de 1 seg.

La energía hidráulica disipada debida al gradiente de velocidades que se provoca durante el salto hidráulico puede ser calculada mediante la relación de Belanger (1).

$$h_p = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4 h_1 h_2} \quad (3)$$

en donde la energía disipada corresponde a la energía disipada en el volumen correspondiente entre las secciones 1 y 2 de la figura 3.

Para números de Froude comprendidos entre 4.5 - 16 se puede aplicar la fórmula de Smetana (1).

$$L = 6 (h_2 - h_1) \quad (4)$$

El gradiente de velocidad es calculado por la siguiente fórmula

$$G = \sqrt{\frac{\gamma Q h_p}{\mu V}} = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu} \cdot \frac{h_p}{T}} \quad (5)$$

en donde T el tiempo de mezclado está definido por:

$$T = \frac{2L}{V_1 + V_2} \quad (6)$$

donde

γ = peso específico del H_2O (kg/m^3)

μ = coeficiente de viscosidad absoluta ($kg-s/m^2$)

Q = gasto volumétrico (m^3/s)

h_p = pérdida de carga en el resalto (m)

V = volumen comprendido entre las secciones (1) y (2) en m^3

V_1 = velocidad del agua en la sección 1 (m/s)

V_2 = velocidad del agua en la sección 2 (m/s)

Para las condiciones establecidas en la figura 3, la carga hidráulica disponible en la sección 1 es:

$$E_1 = E_0 = \frac{V_1^2}{2g} + h_1 \quad (7)$$

donde:

E_1 .- Carga hidráulica disponible en la sección 1.

E_0 .- Carga hidráulica disponible en la sección de medición.

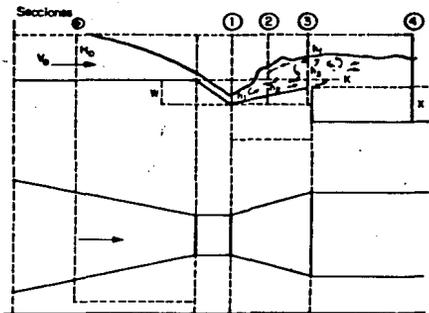


Fig 4. Resalto Hidráulico en el Parshall

Por lo anterior, para producir un salto hidráulico con la finalidad de obtener del canal Parshall el mezclador hidráulico, bastará con determinar las alturas y las velocidades conjugadas. Altura conjugada antes del salto (Fig 4)

$$h_1 = \frac{Q}{8V_1} = \frac{q}{V_1} \quad (8)$$

Sustituyendo (8) en (7) resulta

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{q}{V_1} = E_0 \quad (9)$$

ecuación de tercer grado, cuya solución está dada por:

$$V_1 = 2 \sqrt{\frac{2g E_0}{3}} \cos \frac{\theta}{3} \quad (10)$$

donde :

$$\cos \theta = - \frac{g \cdot q}{\left(\frac{2}{3} g E_o\right)^{3/2}} \quad (11)$$

calculadas h_1 y V_1 los elementos restantes para la determinación del diseño del canal Parshall quedan determinados.

Es importante observar que ésta secuencia de cálculo toma en consideración las diferencias en energía que existen en las secciones que componen el canal.

Así, la energía hidráulica disponible en la sección de medición queda definida por:

$$E_o = \frac{V_o^2}{2g} + H_o + N \quad (12)$$

adicionalmente, la altura del agua en la sección de medición está definido por:

$$H_o = k Q^m \quad (13)$$

donde los parámetros k , m , N son variables estandarizados que se leen en tablas. (3)

La velocidad en la sección de medición se calcula con:

$$V_0 = \frac{Q}{H_0 D'} \quad (14)$$

en donde D' se define por:

$$D' = 2/3 (D - W) + W \quad (15)$$

igualmente D y W son dimensiones estandarizadas para el canal Parshall que se encuentran en Tablas.

En el cálculo del tamaño del resalto se puede considerar que toda la energía disipada en el Parshall se da en la salida de la garganta (sección 2) y en la salida del canal (sección 3) y que en este volumen, la mezcla prácticamente se ha completado.

La pérdida de carga libre es calculada por:

$$h_f = H_0 + K - h_3 \quad (16)$$

2.3.2 Datos necesarios para el diseño

Para el diseño de las unidades de mezclado hidráulico es necesario conocer:

El análisis representativo de las mejores y peores condiciones del agua. Además, en el diseño del mezclador hidráulico

co, es necesario tener bien definido el rango de fluctuación del gasto de agua, ya que el canal Parshall por ser un dispositivo diseñado empíricamente, sus ecuaciones no lo representan fielmente; para gastos muy pequeños o gastos muy grandes, el cálculo elaborado con estas ecuaciones ofrece valores totalmente alejados de la realidad.

Al establecer el análisis funcional para esta unidad de proceso, llegamos a la conclusión que por ser un sistema empírico es necesario definir forzosamente valores numéricos para algunas variables con el fin de poder resolver el sistema de ecuaciones; ésta asignación de valores numéricos se hará en función de valores standarizados de acuerdo al valor de w ancho de garganta que se asigne. (3) y (4)

2.3.3 Formulaciones de diseño

- a) $H_o = k Q^m$ altura de agua en la sección de medición en m
- b) $D' = 2/3 (D-w) + w$ largo del canal en la sección de medición en m
- c) $V_o = \frac{Q}{D' H_o}$ velocidad en la sección de medición en m/s
- d) $q = \frac{Q}{w}$ caudal específico en la garganta del Parshall en $m^3/s/m$

2.3.4 Secuencia de cálculo del programa desarrollado

1. Se selecciona el ancho de garganta del canal, de acuerdo al gasto.
2. Con este dato el programa efectua la búsqueda de las especificaciones del diseño civil de acuerdo a la tabla de valores estandares, para $(A, B, C, D, E, I, G, K, N, X, Y)$. (Fig 5)
3. Cálculo de las condiciones de velocidad, profundidad del agua en la sección de medición, antes y en el salto hidráulico, así como en la sección de salida del Parshall.
4. Si las condiciones están dentro del rango de validación del % de sumergencia del número de Froude y de los tiempos de mezclado y además el canal tiene una G que permita el mezclado, termina la secuencia de cálculo, si no, vuelve a comenzar.

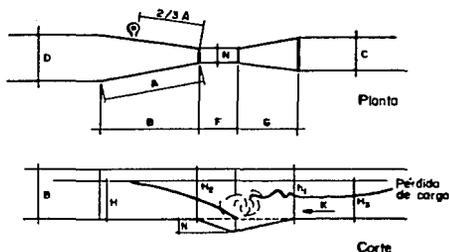


Fig 5. Mezclador y medidor Parshall

2.3.6 EJEMPLO DE CALCULO

CORRIDA PARA EL DISEÑO DE CANALES PARSHALL COMO UNIDADES DE MEZCLADO
RAPIDO Y MEDICION

**** D A T O S ****

DAME EL GASTO HIDRAULICO (M3/S)? .3
DAME EL VALOR DE ANCHO DE GARGANTA (M)? 3.6576

*** RESULTADOS DE LA CORRIDA PARA EL DISEÑO DE CANALES PARSHALL ***
NUMERO DE FROUDE F1= 5.697954
TIEMPO DE MEZCLADO = 1.234399 SEG
GRADIENTE DE VELOCIDAD = 1326.681 SEG-1

LOS DATOS DEL ARCHIVO PARA ESE VALOR DE GARGANTA SON :

A (M) = 3.048
B (M) = 4.8768
C (M) = 4.470502
D (M) = 5.607101
E (M) = 1.524
F (M) = .9144
G (M) = 2.4384
K (M) = .1524
N (M) = .3429
X (M) = .3048
Y (M) = .2286
GASTO MAXIMO DEL EFLUENTE = 9.910896 M3/S
GASTO MINIMO DEL EFLUENTE = .2576833 M3/S

*** RESULTADOS EN LA SECCION DE MEDICION ***

NIVEL DEL AGUA = .120655 M
LONGITUD DEL PARSHALL = 4.957268 M
VELOCIDAD DEL AGUA = .5015723 M/S
GASTO ESPECIFICO EN LA GARGANTA DEL PARSHALL = 8.202101E-02 M3/S/M
CARGA HIDRAULICA DISPONIBLE = .4763774 M

*** RESULTADOS EN LA SECCION : ANTES DEL RESALTO ***

NIVEL DEL AGUA = 2.764274E-02 M
VELOCIDAD DEL AGUA = 2.967181 M/S

*** RESULTADOS EN LA SECCION : RESALTO ***

NIVEL DEL AGUA = .2093556 M
VELOCIDAD DEL AGUA = .3917784 M/S
PERDIDA DE CARGA = .2541994 M

*** RESULTADOS EN LA SECCION : SALIDA ***

NIVEL DEL AGUA = 1.885562E-02 M
VELOCIDAD DEL AGUA = 3.55897 M/S
SI DESEA HACER OTRO CALCULO OPRIMA LA TECLA F2
OK

3. FLOCULACION

3.1 Fundamentos

El proceso de floculación sigue al de mezclado rápido, el cual se caracteriza por ser una acción de mezcla, su diferencia radica en la intensidad y tiempo de mezclado.

Esta etapa de tratamiento del agua se caracteriza por la asociación de partículas y se define como la aglomeración de partículas afines eléctricamente debida principalmente a la acción y efecto del momentum del transporte del fluido.

Su fundamento fisicoquímico se basa en la asociación de aglomerados eléctricos microfloculos que forman moléculas y después partículas de baja concentración volumétrica que son arrastradas hacia el seno del líquido por efecto de su pro-

pio peso y que permiten una alta eficiencia en las fases de separación; sedimentación y filtración.

Un aspecto primordial en este sistema es la velocidad o gradiente hidráulico del fluido que debe ser tal que agrupe y ponga en contacto a todos los "flocs" a fin de lograr su interacción y a su vez, no rompa la unión que se formó. De aquí que el grado de hidratación del floc depende del gradiente, que debe generar que el floc sea más pequeño y más compacto.

3.1.1 Tipos de floculación

Los mecanismos de interacción de partículas en la floculación son dos:

- a) La floculación ortocinética que se refiere al aumento en el movimiento general de las moléculas debido al aumento en el régimen de flujo.
- b) La floculación pericinéctica, cuando el movimiento de las moléculas es debido a la energía térmica de éstas (movimiento browniano).

En la floculación pericinéctica, el tiempo medio en segundos necesario para reducir a la mitad la concentración inicial de las partículas n_1 , por cm^3 , a temperatura del agua de 25°C es

de:

$$T_{1/2} = \frac{1.63 \times 10^{11}}{n_1} \quad (17)$$

En la relación anterior se observa que la velocidad de floculación pericinetica es independiente del tamaño de la partícula, pero proporcional a su concentración. Por ejemplo, una muestra de agua que contenga 10,000 virus por mililitro, el tiempo para reducir a la mitad el número de organismos sería alrededor de 200 días. El proceso de floculación pericinetica es, por lo tanto, extremadamente lento, no siendo de interés práctico en tratamiento de agua (5).

La floculación ortocinetica es debida a gradientes de velocidad inducidos en el líquido por energía mecánica o hidráulica causando el movimiento de las partículas a diferentes velocidades, aumentando por lo tanto la probabilidad de colisión.

3.1.2 Modelos para la definición de ecuaciones

3.1.2.1 Modelo de Harris

Harris y otros, partiendo de la ecuación de Von Smoluahawsbei (5) establecieron un modelo matemático para la velocidad de aglomeración de las partículas, admitiendo que el volumen de las

partículas resultante es igual a la suma de los volúmenes de las partículas agregadas y que su densidad permanece constante.

A la menor de las partículas agregadas, se le llama partícula primaria y su concentración por unidad de volumen será n_1 . Una fracción de las partículas que colisionan se aglomeran, otra pueden desaglomerarse dependiendo de las características de las partículas, del coagulante y del flujo.

El tamaño máximo de los flóculos está limitado a un flóculo determinado. El modelo propuesto no permite la determinación del tamaño máximo del flóculo.

3.1.2.2 Modelo de Hudson

Un enfoque más simple fue tomado por Hudson (5) admitiendo una distribución binodal compuesta solamente por flóculos y partículas primarias, cuyas variaciones de tamaño en cada grupo no son significativas.

La ec. de Hudson:

$$\frac{n_t}{n_1} = e^{-n} \cdot \frac{VG}{II} \cdot t \quad (18)$$

donde:

(n_1) representa el material en suspensión al inicio de la floculación ($t=0$) y (n_t) representa la concentración remanente de partículas (número de flóculos) después de un tiempo (t). La conclusión más importante a que se llega por la ecuación anterior se refiere a que la velocidad de floculación depende del volumen del flóculo y no del número y del tamaño de las partículas primarias.

En la floculación, la variable más fácilmente controlable es el gradiente de velocidad, el cual es función de la potencia mecánica aplicada o de la energía hidráulica disipada por el agua. Camp y Stein (5), dedujeron de la siguiente ecuación para el cálculo del gradiente de velocidad G:

$$G = \frac{du}{dy} = \left(\frac{P}{uV} \right)^{1/2} \quad (19)$$

donde

$\frac{du}{dy}$ = gradiente de velocidad

V = volumen del tanque de floculación
 u = coeficiente de viscosidad dinámica
 P = potencia aplicada al agua

3.2 Factores que influyen en el proceso

3.2.1 Interacciones entre las variables

Las variables más importantes en el proceso de floculación, por ser las más fácilmente controlables, son las dosis de coagulante y la intensidad con que la suspensión es agitada en el tanque de floculación (dada por el gradiente medio de velocidad). Un tercer parámetro también controlable en el proceso y, por lo mismo, importante en un proyecto, es el tiempo de floculación.

El coagulante más comúnmente utilizado en tratamiento de agua, es el sulfato de aluminio, en dosis que normalmente es tán dentro del intervalo de 10-50 mg/l, utilizándose dosis de 20-35 mg/l, con mayor frecuencia.

Obviamente las dosis dependen de las características físico-químicas del agua y de la intensidad y tiempo de mezcla.

La intensidad de agitación que se da al agua, es un factor determinante en la eficiencia de floculación. Camp (6) en un estudio efectuado en 20 plantas de tratamiento, determinó los tiempos y los gradientes de floculación. Los valores de los gradientes de floculación. Los valores de los gradientes de velocidad varían entre 75 y 20 s^{-1} y los tiempos de floculación de 10 a 100 minutos.

El valor óptimo de G es el que produce una turbiedad residual mínima cuando las otras condiciones, tiempo de floculación y dosis de coagulantes, permanecen constantes. Estudios realizados por Villegas y Letterman (6), tuvieron como objetivo relacionar estas variables con las dosis de coagulante.

Inicialmente indicaron la existencia de valores óptimos para un tiempo de floculación (T) y un gradiente de velocidad (G), obteniendo la siguiente expresión matemática:

$$(G^*)^{2.8} T = K \quad (20)$$

Siendo los valores de $K = 4.9 \times 10$, 1.9×10 y 0.7×10 para dosis de sulfato de 10 mg/l, 25 mg/l, 50 mg/l, respectivamente.

El hecho de que (K) es directamente proporcional a $(G^*)^{2.8}$, cuando (T) permanece constante y decrece cuando se aumenta la dosis de sulfato indica que el valor de (G) (óptimo disminuye al aumentar la dosis de sulfato).

Generalmente la ec (5):

$$G^n T = K \quad (21)$$

en la cual los valores de (n) y (K) varían en función de la calidad de cada agua, obteniéndose curvas representativas

3.2.2 Calidad del agua

La coagulación y, por consiguiente, la floculación son extremadamente sensibles a las características físico-químicas del agua cruda, tales como la alcalinidad, el pH y la turbiedad, etc.

Algunos iones presentes en el agua pueden influir en el equilibrio físico-químico del sistema, en la generación de cadenas poliméricas de los hidróxidos que se forman, o en la interacción de estos polímeros con las partículas coloidales afectando el tiempo de floculación.

La presencia de iones $SO_4^{=}$, por ejemplo, tiene marcada influencia en el tiempo de formación de los flóculos, en función del pH.

La concentración y la naturaleza de las partículas que producen la turbiedad también tienen una notable influencia en el proceso de floculación. En todos los modelos matemáticos de floculación, la velocidad de formación de los flóculos es proporcional a la concentración de las partículas. Por regla general es más fácil flocular aguas con elevada turbiedad y que presenten una amplia distribución de tamaños de partículas. En tanto partículas de mayor tamaño, que podrían ser removidas en tanques de sedimentación simple, tales como arena fina acarreada durante picos de elevada turbiedad, interfieren con la floculación, inhibiendo o impidiendo el proceso. Por este motivo, cuando la turbiedad del agua cruda es igual o superior a 1,000 UJ, es indispensable la utilización de tanques de pre-sedimentación. (6)

De acuerdo con la ecuación de Hudson, la floculación es determinada por el adimensional $(n/\pi)VGt$. Se resalta la importancia de la concentración de volumen de flóculos (v), la cual, normalmente está comprendida entre 5 y 20%.

Esta concentración relativamente alta, explica los resultados plenamente satisfactorios con bajos valores de (G) ($< 5 s^{-1}$)

y tiempos de floculación relativamente cortos (< 15 min). Algunas unidades, para aumentar su eficiencia, cuentan con dispositivos para recircular los lodos.

De las consideraciones anteriores, surge el agrupamiento adimensional *VGT*, como un parámetro útil para caracterizar el proceso de floculación. Hasta la fecha no existe todavía un valor o escala de valores teóricos que represente la optimización del proceso. Harris et al. (6) de experiencias de laboratorio, sugieren que este parámetro sea del orden de 100.

3.2.3 Número de Compartimentos

En todos los modelos propuestos para la floculación la velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo. Bajo determinadas condiciones existe un tiempo óptimo para la floculación normalmente entre 20 y 40 minutos. A través de ensayos de prueba de jarras, se puede determinar ese tiempo.

La permanencia del agua en el floculador durante un tiempo inferior o superior al óptimo, produce resultados inferiores, tanto más acentuados cuanto más se aleje éste del tiempo óptimo de floculación.

Es necesario, por lo tanto, que se adopten medidas para apro-

ximar el tiempo de retención en el tanque de floculación al tiempo nominal escogido. Se puede obtener esto, dividiendo el tanque de floculación en pantallas deflectoras. Cuanto mayor sea el número de compartimentos menores serán los cortocircuitos del agua.

Harris et al. (6), considerando al tanque de floculación como un reactor en serie con (m) número de cámaras, demostraron que:

$$\frac{n_1}{n_m} = \left(1 + n\phi G \frac{T}{m}\right)^m \quad (22)$$

(n_1) y (n_m) representan las concentraciones de las partículas en la primera cámara y en la cámara de orden (m), respectivamente y (T), el tiempo total de floculación. La ecuación anterior muestra claramente que una eficiencia dada, puede ser obtenida en tiempos cada vez menores a medida que se aumenta el número de cámaras de floculación en serie.

Por razones de orden práctico y económico, el número de cámaras de los floculadores convencionales, no sobrepasa generalmente a 6 unidades. Las recomendaciones de proyecto estipulan un mínimo de 3 unidades.

Partiendo de la ec. (22) se llega a la siguiente ecuación:

$$T = \frac{1}{kg} \ln \left(\frac{n_j}{n_m} \right) \quad (23)$$

que caracteriza la floculación en medio granular. Un floculador de medio granular de piedras, por ejemplo, puede ser considerado como un floculador hidráulico con un número muy grande de compartimentos y puede, de este modo; flocular en un tiempo bastante corto.

(T) = tiempo necesario en un floculador de medio granular para una eficiencia de remoción de turbiedad dada

$$\left(\rho = 1 - \frac{n_m}{n_j} \right)$$

(G) = tiempo correspondiente en un ensayo de prueba de jarras con las mismas eficiencias, a iguales gradientes de velocidad.

3.2.4 Gradiente de velocidad

Cuanto mayor es el gradiente de velocidad, más rápida es la velocidad de aglomeración de las partículas. Mientras tanto, a medida que los flóculos aumentan de tamaño, crecen también las fuerzas de cizallamiento hidrodinámico que se ejercen sobre ellos, inducidos por el gradiente de velocidad los flóculos crecerán hasta un tamaño máximo, arriba del cual las fuerzas de cizallamiento alcanzan una intensidad que los rompen en partículas menores.

La resistencia de los flóculos depende de una serie de factores:

- a) De su tamaño, forma y compactación;
- b) Del tamaño, forma y naturaleza de las micropartículas; y
- c) Del número y forma de los ligamentos que unen a las partículas.

Kaufman et al (6) identifican 2 formas de ruptura de los flóculos: 1) por erosión de las partículas primarias de la superficie de los flóculos; y 2) por fractura del flóculo propiamente dicho, formando un grupo de aglomerados floculentos de menor tamaño.

Para comprender el mecanismo de fragmentación de los flóculos debe distinguirse dos modos de acción hidrodinámica, que de acuerdo con el tamaño de los flóculos será mayor o menor que la microescala de turbulencia (η) :

$$\eta = (\nu^3/\epsilon)^{1/4} \quad (24)$$

donde (ϵ) es una función de la disipación de energía por unidad de masa del fluido y (ν) es el coeficiente de viscosidad cinemática. Con la ec de Camp y Stein:

$$G = \left(\frac{\epsilon}{\nu}\right)^{1/2} \quad (25)$$

De (24) y (25) se obtiene la microescala de turbulencia en función de G :

$$\eta = \left(\frac{\nu}{G}\right)^{1/2} \quad (26)$$

De la ec. (10), para diferentes gradientes se obtienen los siguientes valores de (η) (Tabla III).

TABLA III. MICROESCALA DE TURBULENCIA EN FUNCION DE G .

G	η
70 s^{-1}	0.13 m
30 s^{-1}	0.2 m
5 s^{-1}	0.5 m

De la Tabla III, cuando se tiene un valor de η menor al correspondiente para cada gradiente, la fragmentación no es significativa y sería causada por remolinos en la zona de flujo laminar donde la disipación de energía se realiza por efecto de la viscosidad. En cambio para los flóculos mayores que la (η) correspondiente son rotos por acción de la turbulencia con disipación de energía por efecto de la inercia.

El tamaño máximo de un flóculo estable será:

$$d = \frac{C}{G^n} \quad (27)$$

C = coeficiente que depende de las propiedades de los flóculos y del agua,

G = gradiente medio de velocidad

(n) = exponente que depende del modo en que rompen los flóculos y de la escala de turbulencia que causa su fragmentación:

$n = 2$ para la erosión de flóculos mayores que (η)

$n = 1$ para la erosión de los flóculos menores que (η)

$n = 1/2$ para la ruptura de los flóculos independientemente de su tamaño.

En el modelo propuesto por Kaufman et al., (5) la velocidad de formación de partículas primarias debido a la ruptura de los flóculos será:

$$\frac{dn_1}{dt} = K_B G^m \quad (20)$$

K_B = coeficiente de ruptura de los flóculos

$m = 4$ para flóculos mayores que la microescala

$m = 2$ para flóculos menores que (η)

los coeficientes (C) y (K) son de difícil determinación, pero esto no invalida las teorías propuestas por Kaufman, las cuales son de gran utilidad, para la comprensión del proceso de

floculación, para su aplicación práctica en proyectos, o en la optimización de tanques de floculación.

Con la división y la elección de valores adecuados para los gradientes de velocidad se aumenta la eficiencia del proceso y/o se reduce el tiempo necesario de floculación. Gradientes elevados en los primeros compartimentos, promueven una aglomeración más acelerada de los flóculos; gradientes más bajos en las últimas cámaras reducen la fragmentación.

Argaman y Kaufman (5) desarrollaron un modelo de floculación que expresa el mecanismo de colisión entre las partículas suspendidas en un fluido turbulento. Este modelo está basado en la hipótesis de que el movimiento desordenado de tales partículas está caracterizado por un coeficiente de difusión, el cual se expresa en términos del espectro de energía de campo de turbulencia; desarrollando la ecuación siguiente de floculación para una unidad de flujo continuo:

$$\frac{n_1^0}{n_1^m} = \frac{(1 + K_A G \frac{T}{m})^m}{1 + K_B G^2 \frac{T}{m} \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} (1 + K_A G \frac{T}{m})^\lambda} \quad (29)$$

K_A constante de aglomeración que depende de las características del sistema de agitación y del tipo de floculación adimensional

K_B constante de ruptura expresada en s^{-1}

(T) tiempo de retención (s)

(G) gradiente de velocidad expresado (s^{-1}).

Valores de las constantes de Aglomeración y Ruptura

Constantes	Paletas	Turbinas
K_B	5.1×10^{-5}	3.9×10^{-5}
K_A	1.1×10^{-7}	0.9×10^{-8}

$$(K_A = K_p \cdot K_F \cdot K_S)$$

Los valores recomendados para gradientes de velocidad en floculación se encuentran dentro de un rango de 100 a $10 s^{-1}$. Es conveniente que se haga una división con gradientes escalonados en forma decreciente.

Después de formados los flóculos en la última cámara, se debe tener cuidado en la conducción del agua floculada hasta los decantadores. Los gradientes de velocidad en los canales, compuertas, o cualquier otra estructura de paso del agua floculada, no debe tener un gradiente de velocidad superior al de la última cámara del floculador. Los gradientes de floculación en canales ó pasajes pueden ser calculados por la fórmula siguiente:

$$G = n \frac{Y}{u} R_H^{-0.7} V^{1.5} \quad (30)$$

n = coeficiente de Ganguillet, Kutter y Manning

γ y μ = peso específico y coeficiente de viscosidad dinámica

R_H = radio hidráulico

V = velocidad en el canal o pasaje

3.3 Clasificación de floculadores

Se acostumbra clasificar a los floculadores en: mecánicos e hidráulicos. La clasificación más amplia corresponde al modo como se realiza la aglomeración de las partículas. La ecuación de Hudson es representativa de este fenómeno; ya que el gradiente de velocidad está en función de la concentración de sólidos

$$\frac{dn}{dt} = - \frac{n}{\pi} n_f \cdot C \cdot G \quad (31)$$

C = concentración de sólidos o volumen total de flóculos por unidad de volumen de agua

G = gradiente de velocidad.

Esta última clasificación los agrupa en:

- Floculadores de contacto de sólidos
- Floculadores de potencia o disipación de energía.

De acuerdo con esta, el esquema de clasificación es:

	Pantallas	horizontales
		verticales
Hidráulicos	Helicoidales: cámaras, entrada; alabama Medios porosos: fluidificados, piedras Tuberías	
Mecánicos	Paletas: horizontales, verticales, inclinadas Turbina: horizontales, verticales Oscilantes: paletas, cintas	
Eléctricos		
Mantos de lodos	Agitación mecánica Fluidificación hidráulica Fluidificación neumática Circulación de lodos	

TABLA IV. Clasificación General de Floculadores

En este estudio se desarrollaron dentro de los hidráulicos el de pantallas de flujo horizontal y vertical y entre los mecánicos el de paletas; horizontales y verticales.

3.4 Floculadores hidráulicos de pantallas

Cualquier dispositivo que utilice la energía hidráulica disipada por el flujo de agua a través de un tanque, canal o canalización puede constituir un floculador hidráulico.

Los floculadores hidráulicos más utilizados son: los de pantallas, de flujo horizontal o de flujo vertical. En los primeros, el agua circula con un movimiento de vaiven y en los segundos, la corriente sube y baja sucesivamente contorneando las diversas mamparas o pantallas. (Figs 6 y 7)

En este tipo de floculadores la pérdida de carga puede ser calculada por:

$$h = \frac{(N + 1) V_1^2 + n V_2^2}{2g} \quad (32)$$

donde

h = pérdida de carga en las pantallas, m

n = número de pantallas

V_1 = velocidad entre las pantallas, m/s

V_2 = velocidad en los pasajes, m/s

Los espaciamientos entre pantallas se determinan en función de la velocidad V_1 , la que se recomienda hacer variar desde 0.40 m/s, aguas arriba del floculador, a 0.15 m/s a la salida.

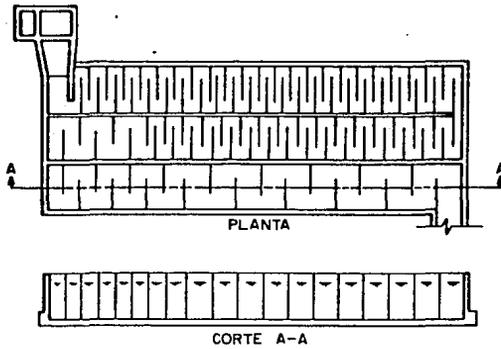


Figura 6. Floculador hidráulico de pantallas flujo horizontal

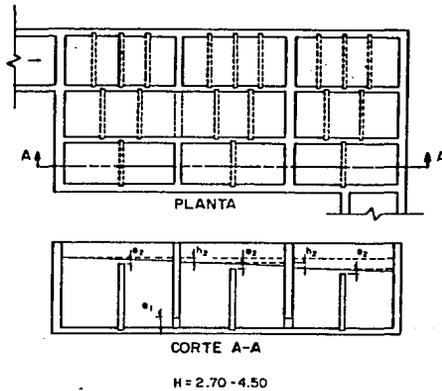


Figura 7. Floculador hidráulico de pantallas flujo vertical

da del mismo.

La distancia entre el extremo de una pantalla y la pared del floculador debe ser igual a 1.5 veces el espaciamento entre pantallas, o sea, que la velocidad en éstos pasos debe variar entre 0.30 y 0.10 m/s.

3.4.1 Floculadores hidráulicos de flujo horizontal y vertical

Los floculadores de pantalla de flujo horizontal son más reco
mendables para pequeños caudales. Una de las ventajas es que se puede adaptar el sistema con dispositivos móviles que hagan posible el ajuste del espaciamento entre pantallas y sub
secuentemente del gradiente de velocidad. La desventaja es que tales dispositivos encarecen la obra y se debe tener espe
cial atención en el diseño.

Los floculadores de pantalla de flujo vertical se recomiendan para caudales mayores, pueden ser más profundos de 4 m y su estructura se puede adoptar a las demás unidades adyacentes presentando la ventaja en cuanto a una menor área.

3.4.2 Ecuaciones de diseño

3.4.2.1 Floculador de pantallas de flujo horizontal

- a) Volumen total del floculador, en m^3 $V = 60 \cdot Q \cdot T$
- b) Largo Total, en m $A = V/H \cdot L$
- c) Número de canales entre pantallas $n = 0.045 \sqrt[3]{\left(\frac{HAG}{Q}\right)^2 \cdot t}$
- d) Espaciamiento entre pantallas, en m $e = A/n$
- e) Velocidad de los canales entre chicanas, en m/s $V_1 = \frac{Q}{eH}$
- f) Velocidad en los pasillos, en m/s $V_2 = \frac{2}{3} V_1$
- g) Extensión total de canales, en m $L' = 60 V_1 t$
- h) Radio hidráulico, en m $R_H = \frac{eH}{c+2H}$
- i) Pérdida de carga continua, en m $h'_p = \left(\frac{m V_1}{R_H}\right)^2 L'$

j) Pérdida de carga en los giros de 180°, en m

$$h''_p = \frac{(n+1)V_1^2 + nV_2^2}{2g}$$

k) Pérdida de carga total en el trecho, en m

$$h_p = h'_p + h''_p$$

l) Gradiente de velocidad, en s⁻¹

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu} \cdot \frac{h_p}{t}}$$

3.4.2.2 Floculador de pantallas de flujo vertical

a) Volumen total del floculador, en m³

$$V = 60 \cdot Q \cdot T$$

b) Largo total, en m

$$A = V/HL$$

c) Número de canales entre pantallas

$$n = 0.045 \sqrt[3]{\frac{(aAG)^2 \cdot t}{Q}}$$

d) Espaciamiento entre las pantallas, en m

$$e = A/n$$

e) Velocidad en los canales, en m/s

$$V_1 = \frac{Q}{a \cdot e}$$

f) Velocidad en los pasillos, en m/s

$$V_2 = 2/3 V_1$$

g) Extensión total de los canales, en m

$$L = 60 \cdot V_1 t$$

- i) Radio hidráulico del canal entre las pantallas, en m

$$R_H = \frac{a \cdot e}{2(a+e)}$$

Las pérdidas de carga y el gradiente de velocidad se calculan con las mismas ecuaciones j), k), l) y m) del floculador de flujo horizontal.

3.4.3 Criterios de diseño

- a) El espaciamiento entre chicanas fijas es de 0.60, cuando se instalan dispositivos para variar la posición puede ser más reducido. (6)
- b) La velocidad a lo largo de las chicanas puede variar de 0.30 m/s a 0.60 m/s, al inicio de la floculación en la primera cámara, dependiendo del gradiente de velocidad, y en la última cámara de 0.10 m/s a 0.20 m/s.
- c) La velocidad en los giros deberá ser igual a 2/3 la velocidad en la sección recta de las chicanas.
- d) El tiempo de retención entre chicanas no deberá ser mayor a 30 seg y el tiempo de retención total de 20 a 40 min.
- e) La profundidad en los floculadores de flujo vertical no debe ser inferior a 3 veces el espaciamiento entre chi-

canas. En floculadores de flujo horizontal el espaciamiento entre el extremo de la chicana y la pared no debe ser mayor a la extensión de la propia chicana.

- f) La profundidad en los floculadores de flujo vertical puede variar de 2.70 a 4.50 m, en el caso del flujo horizontal varía de 0.60 a 1.20 m.
- g) Los floculadores de flujo vertical son útiles para gastos de 25 a 1000 l/s.

3.4.4 Secuencia de cálculo del programa desarrollado

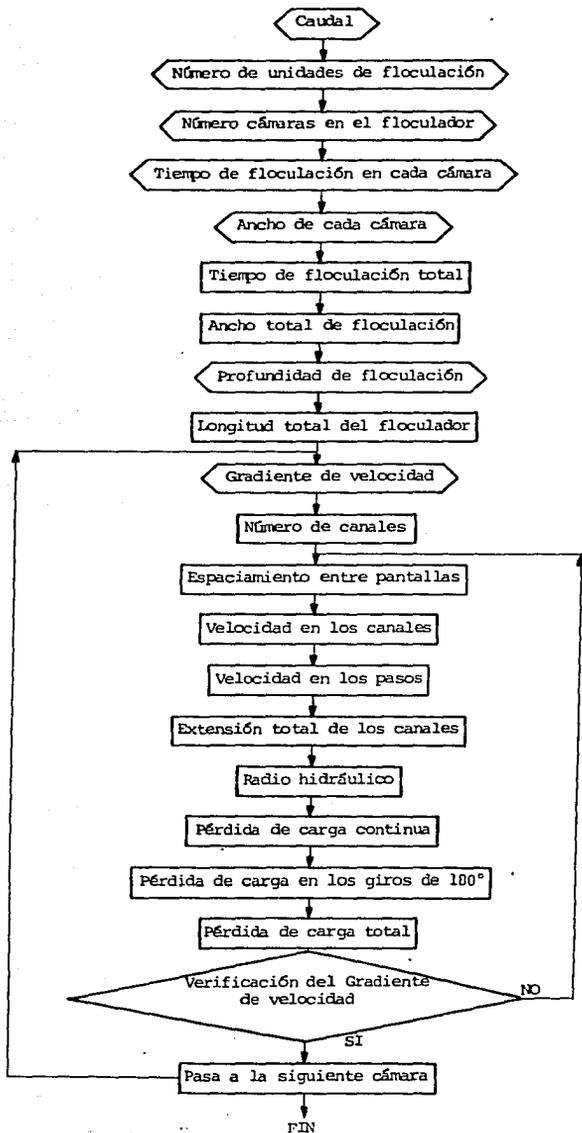
La secuencia de cálculo es la misma para los casos de flujo horizontal y de flujo vertical.

1. Se proporciona la profundidad, el ancho y el tiempo de floculación en cada cámara.
2. Calcula la longitud del floculador.
3. Se propone un gradiente de velocidad, para la primera cámara y calcula: el espaciamiento entre chicanas, el número de canales, la velocidad en canales, la velocidad en los giros, la extensión total de los canales, el radio hidráulico y las pérdidas de carga continua, en los

giros y en la cámara.

4. Se recalcula el gradiente de velocidad y se checa con el propuesto, si no es similar, reinicia el cálculo.
5. La secuencia de cálculo a partir del paso 3 y 4 repite para las siguientes cámaras.

3.4.5. DIAGRAMA DE FLUJO FLOCULADOR HIDRAULICO DE PANTALLAS DE FLUJO HORIZONTAL Y VERTICAL.



3.4.6 EJEMPLOS DE CALCULO

3.4.6.1 CORRIDA PARA EL DISEÑO DE FLOCULADORES HIDRAULICOS DE PANTALLAS CON FLUJO HORIZONTAL

*** DATOS ***

DAME EL GASTO TOTAL DE DISEÑO (M3/S)? .125
 DAME EL TIEMPO DE FLOCULACION TOTAL (MIN)? 21
 DAME LA PROFUNDIDAD DEL FLOCULADOR (M)? 1.2
 DAME LA LONGITUD DEL FLOCULADOR (M)? 16.026
 DAME EL NUMERO DE CAMARAS? 3

*** RESULTADOS ***

PARA LA CAMARA (1) :

DAME EL GRADIENTE DE VELOCIDAD (A PROBAR) (SEG -1) G (1) = ? 75

ESPACIAMIENTO ENTRE CHICANAS= .3645929 M
 NUMERO DE CANALES ENTRE CHICANAS = 43.95588
 GRADIENTE DE VELOCIDAD (CALCULADO) = 76.54637 SEG-1
 PERDIDA DE CARGA CONTINUA = 1.933838E-02 M
 PERDIDA DE CARGA EN GIROS DE 180 GRADOS = .28859 M
 PERDIDA DE CARGA EN LA CAMARA = .2879283 M
 VELOCIDAD EN CANALES ENTRE CHICANAS = .2857068 M/S
 VELOCIDAD EN LOS PASAJES = .1904712 M/S
 EXTENSION TOTAL DE LOS CANALES = 119.9969 M
 RADIO HIDRAULICO = .1582553 M

PARA LA CAMARA (2) :

DAME EL GRADIENTE DE VELOCIDAD (A PROBAR) (SEG -1) G (2) = ? 45

ESPACIAMIENTO ENTRE CHICANAS= .5125158 M
 NUMERO DE CANALES ENTRE CHICANAS = 31.26928
 GRADIENTE DE VELOCIDAD (CALCULADO) = 45.5688 SEG-1
 PERDIDA DE CARGA CONTINUA = 4.739232E-03 M
 PERDIDA DE CARGA EN GIROS DE 180 GRADOS = 9.730074E-02 M
 PERDIDA DE CARGA EN LA CAMARA = .10204 M
 VELOCIDAD EN CANALES ENTRE CHICANAS = .2032458 M/S
 VELOCIDAD EN LOS PASAJES = .1354972 M/S
 EXTENSION TOTAL DE LOS CANALES = 85.36322 M
 RADIO HIDRAULICO = .2111642 M

PARA LA CAMARA (3) :

DAME EL GRADIENTE DE VELOCIDAD (A PROBAR) (SEG -1) G(3) = ? 25

ESPACIAMIENTO ENTRE CHICANAS = .7583842 M
NUMERO DE CANALES ENTRE CHICANAS = 21.13177
GRADIENTE DE VELOCIDAD (CALCULADO) = 25.24182 SEG-1
PERDIDA DE CARGA CONTINUA = 9.664523E-04 M
PERDIDA DE CARGA EN GIROS DE 180 GRADOS = 3.034308E-02 M
PERDIDA DE CARGA EN LA CAMARA = 3.130953E-02 M
VELOCIDAD EN CANALES ENTRE CHICANAS = .1373534 M/S
VELOCIDAD EN LOS PASAJES = 9.156894E-02 M/S
EXTENSION TOTAL DE LOS CANALES = 57.68844 M
RADIO HIDRAULICO = .2881413 M
PERDIDA DE CARGA TOTAL = .4212778 M
VOLUMEN TOTAL DEL FLOCULADOR = 157.5 M3
SI DESEA HACER OTRO CALCULO OPRIMA LA TECLA CORRESPONDIENTE
SI = 0 NO = 1 ? 1

OK

3.4.6.2 RESULTADOS DE LA CORRIDA PARA EL DISEÑO DE FLOCULADORES HIDRAULICOS DE PANTALLAS CON FLUJO VERTICAL.

DIMENSIONAMIENTO DE CAMARAS CON GEOMETRIA DISTINTA

GASTO TOTAL DE DISEÑO =	0.075	m ³ /s
NUMERO DE UNIDADES =	1.	
GASTO POR UNIDAD =	0.075	m ³ /s
TIEMPO DE FLOCULACION TOTAL =	21.000	min
VOLUMEN TOTAL DEL FLOCULADOR =	94.500	m ³
PROFUNDIDAD DEL FLOCULADOR =	3.500	m
LONGITUD DEL FLOCULADOR =	10.000	m
ANCHO TOTAL DE LA UNIDAD =	2.700	m
NUMERO DE CAMARAS =	3	
PARA LA CAMARA =	1	
ANCHO DE LA CAMARA =	0.900	m
TIEMPO DE FLOCULACION =	7.000	min
GRADIENTE DE VELOCIDAD (a prueba) =	60.	s ⁻¹
ESPACIAMIENTO ENTRE CHICANAS =	0.320	m
NUMERO DE CANALES ENTRE CHICANAS =	31.	
VELOCIDAD EN CANALES ENTRE CHICANAS =	0.260	m/s
VELOCIDAD EN LOS PASAJES =	0.174	m/s
EXTENSION TOTAL DE LOS CANALES =	109.375	m
RANEO HIDRAULICO =	0.115	m
PERDIDA DE CARGA CONTINUA =	0.022	m
PERDIDA DE CARGA EN GIROS DE 180 =	0.160	m
PERDIDA DE CARGA EN LA CAMARA =	0.181	m
GRADIENTE DE VELOCIDAD (calculado) =	60.	s ⁻¹
PARA LA CAMARA =	3	
ANCHO DE LA CAMARA =	0.900	m
TIEMPO DE FLOCULACION =	7.000	min
GRADIENTE DE VELOCIDAD (a prueba) =	45.	s ⁻¹
ESPACIAMIENTO ENTRE CHICANAS =	0.380	m
NUMERO DE CANALES ENTRE CHICANAS =	26.	
VELOCIDAD EN CANALES ENTRE CHICANAS =	0.212	m/s
VELOCIDAD EN LOS PASAJES =	0.146	m/s
EXTENSION TOTAL DE LOS CANALES =	92.145	m
RANEO HIDRAULICO =	0.134	m
PERDIDA DE CARGA CONTINUA =	0.011	m
PERDIDA DE CARGA EN GIROS DE 180 =	0.096	m
PERDIDA DE CARGA EN LA CAMARA =	0.107	m
GRADIENTE DE VELOCIDAD (calculado) =	48.	s ⁻¹
PARA LA CAMARA =	3	
ANCHO DE LA CAMARA =	0.900	m

TIEMPO DE FLOCULACION =	7.000	min
GRADIENTE DE VELOCIDAD (a prueba) =	30.	s-1
ESPACIAMIENTO ENTRE CHICANAS =	0.498	m
NUMERO DE CANALES ENTRE CHICANAS =	20.	
VELOCIDAD EN CANALES ENTRE CHICANAS =	0.167	m/s
VELOCIDAD EN LOS PASAJES =	0.112	m/s
EXTENSION TOTAL DE LOS CANALES =	70.339	m
RADIO HIDRAULICO =	0.160	m
PERDIDA DE CARGA CONTINUA =	0.004	m
PERDIDA DE CARGA EN GIROS DE 180 =	0.043	m
PERDIDA DE CARGA EN LA CAMARA =	0.047	m
PERDIDA DE CARGA TOTAL =	0.335	m
GRADIENTE DE VELOCIDAD (calculado) =	32.	s-1

3.5 Floculadores mecánicos

Los floculadores mecánicos se distinguen por el sentido del movimiento y se clasifican en giratorios y alternativos. Los giratorios operan a bajas velocidades de rotación con sistemas de paletas fijas paralelas u horizontales, o a altas velocidades con turbinas. Los alternativos son: el floculador oscilante y el floculador de cintas. Los más utilizados son los floculadores mecánicos de paletas rotativas que constan de un sistema de paletas fijas paralelas a un eje, horizontal o vertical. (Figs 8, 9).

3.5.1 De paletas paralelas

Este tipo de floculadores son poco utilizados en países en desarrollo por el costo que representa el consumo de energía a pesar de requerir menor área.

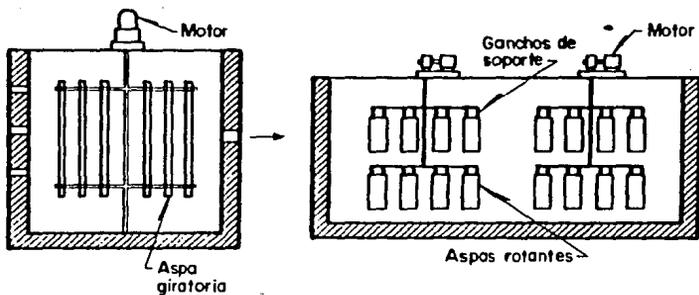


Fig 8. Floculador mecánico de eje vertical con paletas paralelas al eje

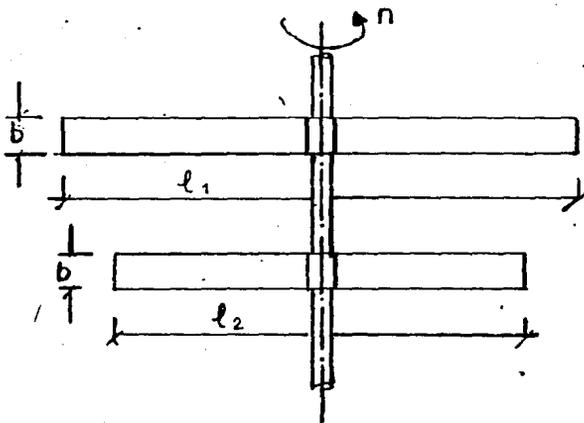


Fig 9. Floculador mecánico de eje vertical con paletas perpendiculares al eje.

La potencia aplicada al agua por una paleta de área A desplazándose a una velocidad V_r (relativa al líquido en movimiento), en torno de un eje, a una distancia r del eje, por unidad de volumen del tanque de floculación es:

$$p = \frac{F_D \cdot F_r}{V} \quad (33)$$

donde

$F_D = C_D A \rho \frac{V_r^2}{2}$ es la fuerza de arrastre

C_D = coeficiente de arrastre de Newton

ρ = densidad del agua $\cdot \frac{1000}{9.8} = 102$

$$C_D \cdot \frac{A}{V} \cdot \frac{V_c^3}{2}$$

donde V , la velocidad absoluta de la paleta, está dada por:

$$V = \frac{V_r}{1-K} \quad V_r = V(1-K) \quad (34)$$

$$P = C_D A \rho \frac{(1-K)^3}{V} \frac{V_c^3}{2}; \quad V = 2\pi r n \quad (35)$$

$$P = 4\pi^3 C_D \frac{(1-K)^3}{V} \cdot n^3 r^3 A \quad (36)$$

para varias paletas, situadas a diferentes distancias r del eje

$$P = 12650 C_D \frac{(1-K)^3}{V} n^3 \sum_{i=1}^n r_i^3 A \quad (37)$$

C_D , depende de la relación entre el ancho h y la longitud L de la paleta

K , varía con la rotación:

para velocidades de 2 - 5.2 rpm; $k = 0.24$

para velocidades de 1.1 - 2.9 rpm, $k = 0.32$

$$\text{Si } C_D = 1.5 \quad k = 0.25; \quad P = 8000 \frac{n^3 \Sigma A r^3}{V}$$

P = potencia aplicada al agua, en kg m/s/m³

n = velocidad de rotación, rps

A = área de la paleta, en m²

r = distancia de cada paleta al eje, en m

V = volumen de la cámara de floculación, en m³.

Así G , el gradiente de velocidades, queda definido como:

$$G = 90 n^3 \frac{Ar^3}{V} \quad (38)$$

la máxima velocidad tangencial que se recomienda es de 0.75 m/s; con un área total de paletas situadas en un mismo plano que no deberá pasar de 15 a 20% del área de la sección transversal del tanque.

3.5.2 Ecuaciones de diseño

3.5.2.1 De eje vertical y paletas paralelas al eje:

a) Volumen total del floculador, en m^3 $V = 60 Q T$

b) Volumen de cada cámara de floculación, en m^3 $v = \frac{V}{W}$

c) Lado de cada cámara de floculación en m $B = \sqrt[3]{V/H}$

d) Velocidad de rotación, en r.p.s. $n = \frac{4.29 \times 10^{-2}}{1-K} \sqrt[3]{\frac{\mu G^2 \cdot v}{C_D \cdot b \cdot l (W_1 r_1^3 + N_2 r_2^3 \dots)}}$

e) Velocidad tangencial máxima, en m/s $V = 2\pi n r_3$

g) Potencia aplicada al agua, en kgm/s $P = \mu v G^2$

g) Potencia de motor eléctrico, en H.P. $P_{\mu} = 2.5(P/75)$

3.5.3 Criterios de diseño

a) El tiempo de retención varía de 30 a 40 min.

b) El número de cámaras en serie igual o superior a 3.

c) El gradiente de velocidad varía comúnmente de 65 a 25 s^{-1} ,

de la primera a la última cámara, teniendo como valores extremos de 75 a 10 s^{-1} .

- d) La relación de la velocidad del agua y de las paletas varía entre 0.24 y 0.32, este valor tiende a decrecer al incrementar la velocidad de rotación, se sugiere un valor de $K = 0.25$.
- e) El valor del coeficiente de arrastre, C_D , depende de la relación entre el largo, l , y el ancho, b , de la paleta:

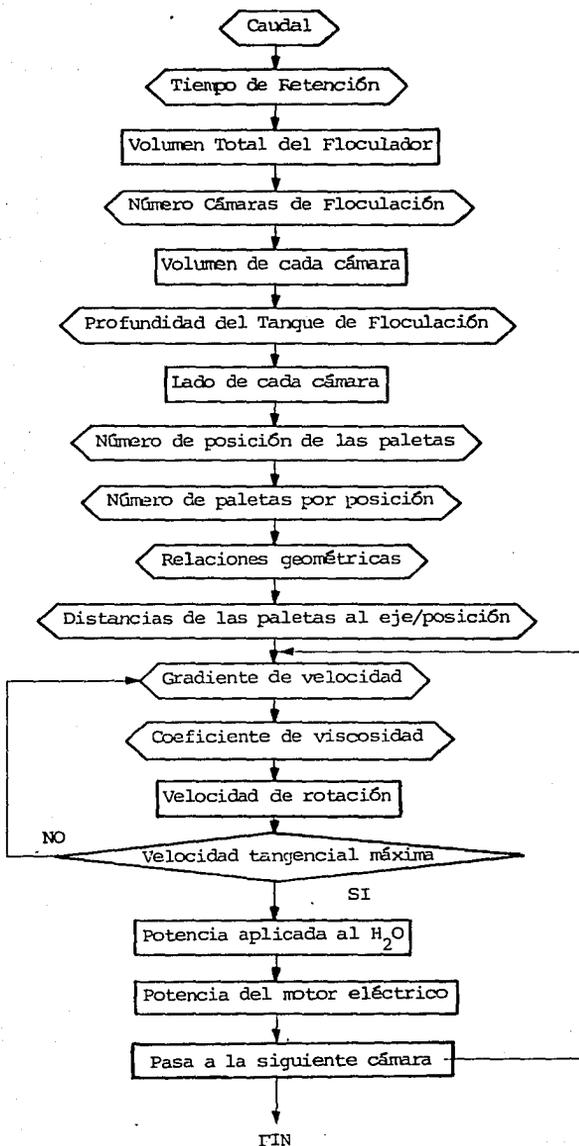
$0 < l/b < 1$	$C_D = 1.10$
$1 < l/b < 2$	$C_D = 1.15$
$2 < l/b < 4$	$C_D = 1.19$
$4 < l/b < 5$	$C_D = 1.20$
$5 < l/b < 10$	$C_D = 1.29$
$10 < l/b < 18$	$C_D = 1.40$
$18 < l/b < 20$	$C_D = 1.52$
$20 < l/b$	$C_D = 2.01$

- f) El área de las paletas debe ser menor que 20% del área de rotación de las paletas.
- g) La velocidad tangencial menor que 0.9 m/s en la primera cámara y menor que 0.3 m/s para la última cámara.

3.5.4 Secuencia de cálculo del programa desarrollado

1. Se proporciona el gasto y el tiempo total de floculación para obtener el volumen total del floculador.
 2. Se selecciona el número de cámaras y por tanto se calcula el volumen y el lado de cada cámara en función de la profundidad deseada.
 3. A partir de las dimensiones de las paletas, su posición y el gradiente de velocidad que se proponen, para la primera cámara, el programa calcula la velocidad de rotación y la velocidad tangencial máxima, la potencia aplicada al agua y la del motor eléctrico.
 4. Si las condiciones están dentro del rango de validación de la velocidad rotacional y de la tangencial, termina la secuencia, si no, reinicia el cálculo.
 5. La secuencia de cálculo se repite a partir del paso 3 para las siguientes cámaras.
- /

3.5.5 Diagrama de flujo del floculador mecánico de eje vertical con paletas paralelas y perpendiculares al eje



3.5.6 EJEMPLOS DE CALCULO

3.5.6.1 CORRIDA PARA EL DISEÑO DE FLOCULADORES MECANICOS DE EJE VERTICAL CON PALETAS PERPENDICULARES AL EJE

*** D A T O S ***

DAME EL LADO DEL TANQUE DE FLOCULACION (M) ? 2
DAME LA ALTURA UTIL DEL TANQUE DE FLOCULACION (M) ? 4.4
DAME EL NUMERO DE CAMARAS ? 4
DAME LA VELOCIDAD DE ROTACION N(RPM) ? 7.2
DAME EL NUMERO DE PALETAS EN CADA CAMARA ? 4

DAME LAS DIMENSIONES DE LAS PALETAS PARA LA CAMARA (1) :
LARGO (M) (1)
? .9
ANCHO (M) (1)
? .2

RESULTADOS PARA LA CAMARA (1) :
GRADIENTE DE VELOCIDAD = 58.26345 SEG-1

DAME LAS DIMENSIONES DE LAS PALETAS PARA LA CAMARA (2) :
LARGO (M) (2)
? .85
ANCHO (M) (2)
? .15

RESULTADOS PARA LA CAMARA (2) :
GRADIENTE DE VELOCIDAD = 45.00696 SEG-1

DAME LAS DIMENSIONES DE LAS PALETAS PARA LA CAMARA (3) :
LARGO (M) (3)
? .85
ANCHO (M) (3)
? .075

RESULTADOS PARA LA CAMARA (3) :
GRADIENTE DE VELOCIDAD = 31.82473 SEG-1

DAME LAS DIMENSIONES DE LAS PALETAS PARA LA CAMARA (4) :
LARGO (M) (4)
? .7
ANCHO (M) (4)
? .075

RESULTADOS PARA LA CAMARA (4) :
GRADIENTE DE VELOCIDAD = 21.58385 SEG-1
SI DESEA HACER OTRO CALCULO OPRIMA LA TECLA CORRESPONDIENTE
SI=0 , NO=1 ? 1

OK

3.5.6.2 CORRIDA PARA EL DISEÑO DE FLOCULADORES MECANICOS DE EJE VERTICAL CON PALETAS PARALELAS AL EJE

*** D A T O S ***

DAME EL FLUJO VOLUMETRICO (M3/S)? .15
DAME EL TIEMPO DE FLOCULACION PARA T=30 A T=40 (MIN)? 30
DAME EL # DE CAMARAS DE FLOCULACION EN SERIE? 3
DAME LA LONGITUD DE LA PALETA (M)? 3.8
DAME EL ANCHO DE LA PALETA (M)? .1
DAME LA PROFUNDIDAD DEL TANQUE DE FLOCULACION (M)? 4.5
DAME EL # DE POSICIONES PARA LAS PALETAS? 3
DAME EL # DE PALETAS EN CADA POSICION? 4
DAME LA DISTANCIA DE LA PALETA AL EJE PARA LA (1) POSICION EN M
? 1.25
DAME LA DISTANCIA DE LA PALETA AL EJE PARA LA (2) POSICION EN M
? 1.5
DAME LA DISTANCIA DE LA PALETA AL EJE PARA LA (3) POSICION EN M
? 1.75

PARA LA CAMARA (1) :

DAME EL GRADIENTE DE VELOCIDADES (A PROBAR) (SEG -1)? 65
VELOCIDAD DE ROTACION = 3.876763 RPM
POTENCIA APLICADA AL AGUA = .5898575 HP
POTENCIA MOTOR ELECTRICICO = 1.474644 HP

PARA LA CAMARA (2) :

DAME EL GRADIENTE DE VELOCIDADES (A PROBAR) (SEG -1)? 40
VELOCIDAD DE ROTACION = 2.804882 RPM
POTENCIA APLICADA AL AGUA = .223378 HP
POTENCIA MOTOR ELECTRICICO = .5584451 HP

PARA LA CAMARA (3) :

DAME EL GRADIENTE DE VELOCIDADES (A PROBAR) (SEG -1)? 35
VELOCIDAD DE ROTACION = 2.566003 RPM
POTENCIA APLICADA AL AGUA = .1710238 HP
POTENCIA MOTOR ELECTRICICO = .4275595 HP
SI DESEA REPETIR OTRO CALCULO OPRIMA LA TECLA CORRESPONDIENTE
SI=0 , NO=1? 1

4. SEDIMENTACION

4.1 Fundamentos

En el tratamiento del agua potable, la sedimentación es el paso posterior a la floculación y es el paso previo a la filtración.

Básicamente, lo que se busca en esta etapa del tratamiento del agua, es remover, vía la acción de la gravedad, los floculos formados en la unidad de floculación.

La sedimentación puede ser realizada por varios caminos, la selección considerada depende en gran medida del tamaño de partícula a eliminar; así pueden ocurrir 4 tipos de sedimentación:

- 1) Tipo I de partículas discretas
- 2) Tipo II de partículas floculantes
- 3) Tipo III de partículas que se obstruyen
- 4) Tipo IV de partículas en compresión.

Los tipos anteriores de sedimentación pueden ocurrir en la práctica simultáneamente.

Sedimentación Tipo I

La sedimentación del tipo I es la sedimentación de partículas discretas en una suspensión diluída. Las partículas sedimentan como unidades independientes y no hay interacción entre ellas.

La sedimentación tipo I se puede realizar a través de las leyes de Newton y Stokes. Cuando una partícula se libera en un fluido estático, y si su densidad es mayor que la del fluido, ésta se moverá en línea recta hacia el fondo debido a la atracción de la fuerza de gravedad. La partícula se acelerará hasta que la resistencia debida a la fricción tienda al valor de la fuerza impulsora, después, la velocidad de caída de la partícula será constante. A esta velocidad terminal se le conoce como velocidad de sedimentación.

Sedimentación Tipo II

La sedimentación tipo II es la sedimentación de partículas floculantes en una suspensión diluida. Las partículas floculan durante la sedimentación incrementando su tamaño y, velocidad. Ejemplos de este tipo de sedimentación se presentan en los sedimentadores primarios, así como en la sedimentación de aguas coaguladas químicamente.

Sedimentación Tipo III

La sedimentación tipo III o zona de sedimentación obstruida, es la sedimentación de partículas de una concentración intermedia. En este caso, las partículas están tan próximas que las fuerzas de cohesión obstaculizan la sedimentación, de tal forma que permanecen en una posición fija relativa a las otras y todas sedimentan a una velocidad constante. Físicamente se distingue una interfase sólido-líquido entre la masa de partículas y el líquido clarificado. Un ejemplo de la sedimentación tipo III es la que ocurre a profundidades intermedias en un clarificador secundario para el proceso por lodos activados. /

Sedimentación tipo IV

En la sedimentación por compresión o tipo IV la concentración

de las partículas es tan alta que estas se tocan entre sí y, la sedimentación ocurre por compresión o compactación de la masa. Un ejemplo de este tipo de sedimentación es la que ocurre en el fondo de los clarificadores usados en el proceso por lodos activados para tratamiento de aguas residuales. Tanto las partículas floculantes como las discretas pueden sedimentar por compresión; sin embargo, es un proceso más común para las primeras.

La sedimentación como tal, es en esencia un fenómeno netamente físico. Cuando se produce una sedimentación en una suspensión de partículas, el resultado será siempre un fluido clarificado.

Para designar a la sedimentación se utilizan generalmente los términos de: clarificación, cuando hay un especial interés en el fluido clarificado y espesamiento de los lodos; cuando el interés está en la suspensión concentrada.

Puede haber gran diferencia en el comportamiento de la sedimentación de un conjunto de partículas en suspensión, ya que en este último caso, las partículas interfieren entre sí disminuyendo su velocidad de sedimentación. Esta diferencia es tanto mayor es la concentración de sólidos en las suspensiones.

En las suspensiones diluidas, la sedimentación se produce como si las partículas sedimentaran en forma aislada (Tipo I).

Así en general, una partícula que se encuentra en un líquido está sometida a dos fuerzas: una de flotación F_F , que es igual al peso del volumen del líquido desplazado por la partícula y la fuerza gravitacional, F_G . Estas se definen como:

$$F_G = \rho_\Delta \cdot g \cdot v \quad (39)$$

$$F_F = \rho \cdot g \cdot v \quad (40)$$

Por efecto de éstas fuerzas, la partícula desciende con velocidad creciente, pero a medida que baja, (por el seno del fluido), la fricción que el líquido genera en ella crea una fuerza de roce definida por la ley de Newton:

$$F_R = C_D A \frac{v_\Delta^2}{2} \quad (41)$$

en la cual:

$\frac{1}{2} v_\Delta^2$ =energía cinética

A = área transversal al escurrimiento

v_Δ = velocidad de sedimentación

C_D = coeficiente de arrastre

Cuando el valor de la fuerza de fricción iguala a la de impulsión, (fuerza de gravedad), la partícula adquiere una ve-

locidad constante, la cual es conocida como velocidad de asentamiento o velocidad de sedimentación, así:

$$g v (\rho_s - \rho) = C_D A \rho \frac{v_s^2}{2} \quad (42)$$

despejando el valor de v_s tenemos:

$$v_s = \left(\frac{2g}{C_D} \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right) \frac{v}{A} \right)^{1/2} \quad (43)$$

la aplicación de esta fórmula es función de la geometría de la partícula así como del medio de difusión y del régimen de flujo.

El término, " v_s ", velocidad de sedimentación (cm/s), normalmente se expresa como "carga superficial". Si Q es el gasto volumétrico (m^3/d), y Δ_H es el área del sedimentador en m^2 , entonces:

$$q = \frac{Q}{\Delta_H} \quad (44)$$

en la cual q representa, la carga superficial que normalmente se expresa en $m^3/m^2/d$, aunque q es una velocidad v , que por lo tanto, tiene las dimensiones de m/s, así con ello se obtiene:

$$v_s = \frac{q \times 1000}{86.400} = \frac{q}{86.4} \quad (45)$$

La sedimentación se realiza en unidades conocidas con el nombre de unidades de sedimentación o en reactores denominados sedimentadores, en los cuales la masa líquida es trasladada de un punto a otro con movimiento uniforme y con velocidad constante V_H .

4.2 Zonas del sedimentador

Una unidad de sedimentación consta de 4 zonas:

- a) Zona de entrada y distribución de agua
- b) Zona de sedimentación
- c) Zona de salida y recolección de agua
- d) Zona de depósito de lodos.

Cualquier partícula discreta que se encuentre en suspensión en un líquido en movimiento, se moverá según la resultante de dos velocidades componentes: la velocidad horizontal del líquido V_H y su propia velocidad de sedimentación v_Δ , que se define como:

$$v_\Delta = \frac{Q}{\Delta_\Delta} \quad (46)$$

donde $\Delta_\Delta = \frac{V}{H}$

criterio que sirve exclusivamente para explicar la teoría bá-

sica de la sedimentación.

La concentración de materia en suspensión en cualquier punto de un sedimentador será igual a la suma de las concentraciones de los tamaños de partículas cuya trayectoria les permite alcanzar dicho punto.

Se dice que una partícula ha sido removida cuando se deposita en el fondo del sedimentador.

Para un caudal dado, la remoción de partículas en suspensión es función exclusivamente de la carga superficial, siendo independiente de la profundidad de sedimentación.

La concentración de materia en suspensión, para cualquier sección transversal del sedimentador se incrementa con la profundidad de sedimentación y decrece con la proximidad a la salida del equipo, por lo tanto, las trayectorias de partículas de iguales características originan lugares geométricos de igual concentración de partículas.

4.3 Sedimentación de alta tasa

El término de sedimentación de alta tasa se utiliza para designar los sedimentadores poco profundos en los cuales se disminuye el tiempo de retención debido a una reducción de la

distancia necesaria para que la partícula floculada caiga al fondo, así como un incremento del área de sedimentación. Las eficiencias de remoción obtenidas son similares o mejores a las de un sedimentador convencional, en el cual, el tiempo de retención es hasta cuatro veces mayor.

Los sedimentadores de alta tasa están constituidos esencialmente por módulos de tubos; circulares, cuadrados, hexagonales, o por láminas planas o corrugadas. Estos se colocan en determinado ángulo de inclinación dentro de un tanque que permite una adecuada entrada y salida del flujo, al mismo tiempo que una buena extracción y recolección de lodos.

En la práctica, para evitar que se arrastren los sedimentos es conveniente mantener un régimen laminar. De tal forma que la distribución de velocidades en los sedimentadores de alta tasa no altere el patrón de trayectoria de la partícula. Por que la presencia de un flujo laminar provoca que las trayectorias de las partículas no sean líneas rectas y, en consecuencia la carga hidráulica no corresponde con la velocidad crítica de sedimentación.

En la figura 10 se muestra un ejemplo de la trayectoria de las partículas para este modelo.

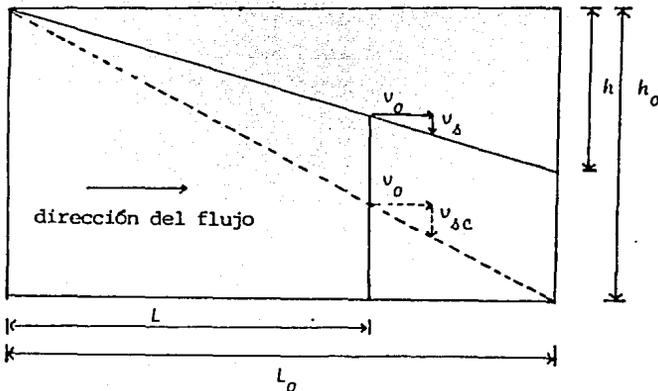


Figura 10. Trayectoria de sedimentación de una partícula

Todas las partículas que tengan velocidades de sedimentación v_{δ} mayores que $v_{\delta c}$, velocidad crítica de sedimentación caerán a través de la profundidad total h_0 y, serán removidas. Como se puede observar, en la figura 10, las partículas con v_{δ} menor que $v_{\delta c}$, se eliminarán si se colocan placas a intervalos h . También se deduce que si el intervalo h se reduce, el tamaño del tanque requerido para remover un porcentaje dado de sedimentos decrece. De acuerdo con Camp, la carga hidráulica que para un sedimentador se expresa en gasto volumétrico por unidad de área de tanque representa la velocidad crítica de sedimentación de las partículas suspendidas. Teóricamente, las partículas con velocidades de sedimentación mayores o iguales a este valor crítico sedimentan completamente en el tanque.

4.3.1 Modelo de Yao

El desarrollo de la ecuación general para sedimentadores de alta tasa hecho por Yao, está basado en la relación que proporciona la velocidad de sedimentación para flujo laminar y partículas discretas. (7)

Así, se tiene que:

$$\frac{v_p}{u} - \frac{u}{v_p} = \frac{(\rho_p - \rho) \sigma g}{3 \pi \mu d_p} = \frac{v_s}{v_p} \quad (47)$$

donde

$\frac{v_p}{u}$ = velocidad de la partícula

$\frac{u}{v_p}$ = velocidad local del fluido

ρ_p y ρ = densidad de la partícula y del fluido

μ = viscosidad dinámica del fluido

σ = volumen de la partícula

g = aceleración de la gravedad

d_p = diámetro de partículas

$\frac{v_s}{v_p}$ = velocidad de sedimentación de la partícula, (con dirección vertical hacia abajo).

Diferenciando la ecuación con respecto a sus componentes para después integrarla en base a la dirección del movimiento se llega a:

$$\frac{u}{v_0} dy - \frac{v_{\Delta}}{v_0} y \sin \theta + \frac{v_{\Delta}}{v_0} x \cos \theta = C_1 \quad (48)$$

donde $y = \frac{y}{d}$ y $x = \frac{x}{d}$

siendo v_0 la velocidad promedio del fluido y d , la profundidad del fluido normal a su dirección,

C_1 y $\frac{u}{v_0} dy$ se evalúan para una trayectoria y un sedimentador de alta tasa particulares. Así para los sedimentadores con flujo entre placas paralelas tenemos:

$$\frac{u}{v_0} = \delta (y - y^2)$$

$$S_c = 1$$

4.3.2 Parámetros de diseño

Partiendo de la ecuación general:

$$\int \frac{v_{\Delta}}{v_0} (\sin \theta + L \cos \theta) = S_c \quad (49)$$

se deduce que los factores que pueden influir en la eficiencia de un proceso de sedimentación de alta tasa superficial

son la velocidad media del flujo, v_0 , y la inclinación y longitud relativa del dispositivo de sedimentación; por lo que estos factores se pueden considerar parámetros de diseño.

El diseño de tanques de sedimentación para tratamiento de aguas y aguas residuales generalmente se basa en el parámetro de carga superficial (C_Δ), expresado como velocidad de flujo por unidad de área del tanque, que para tanques rectangulares de flujo con distribución de velocidades uniforme representa, la velocidad de caída crítica de la partícula.

El diseño de sedimentadores de alta tasa superficial se basa también en la determinación de una adecuada velocidad de sedimentación crítica de acuerdo a la eficiencia deseada. Pero para éste tipo de sedimentadores, la carga superficial no es equivalente a la velocidad de sedimentación crítica. Sin embargo, para fines de investigación experimental, de pruebas de tratabilidad y de análisis comparativo es justificable expresar la velocidad de sedimentación crítica en unidades de carga superficial, denominándola carga superficial equivalente (C_{Δ_e}), ya que sistemas con la misma velocidad de sedimentación crítica tendrán eficiencias comparables. Con este propósito, la ecuación general se puede expresar de la siguiente manera:

$$C_{\Delta_e} = C K v_0 \quad (50)$$

donde K se define como:

$$K = \frac{S_c}{(\text{sen } \theta + L \cos \theta)} \quad (51)$$

y C es una constante cuya magnitud depende de las unidades usadas para los diferentes términos de la ecuación (56). En unidades del sistema inglés con v_0 en pies/seg y C_{δ_e} en (gal/día)/pie², $C = 6.46 \times 10^5$. En unidades métricas decimales con v_0 en cm/s y C_{δ_e} en (m³/día)/m², $C = 864$.

Conocida la velocidad de sedimentación crítica, correspondiente a la eficiencia de remoción deseada, se puede diseñar el sedimentador en base a una carga superficial real, Q/A ya que esta es equivalente a $v_0 \text{ sen } \theta$, donde v_0 es la velocidad media del flujo y $\text{sen } \theta$ proviene de la relación entre el área transversal al flujo y el área horizontal del sedimentador. Esta equivalencia se puede expresar, a partir de la ecuación general de la siguiente forma:

$$C_{\delta_e} = C K v_{\delta_c} \quad (52)$$

donde

$$K = \left\{ \frac{1}{S_c} \right\} \text{sen } \theta / \text{sen } \theta + L \cos \theta$$

y C es una constante cuya magnitud es igual que para la ecuación

ción (50), de acuerdo a las unidades dimensionales de v_{Δ_c} y C_{Δ} .

De la ecuación general se ve que v_{Δ_c} es directamente proporcional a v_0 , por lo tanto la eficiencia teórica de remoción es inversamente proporcional a v_0 .

La velocidad de caída de la partícula crítica para un sistema de sedimentación de alta tasa puede ser expresada en la siguiente forma:

$$\frac{v_{\Delta_c}}{v_0} = \frac{S_c}{\text{sen } \theta + L \text{ cos } \theta} \quad (53)$$

Para una v_0 dada, v_{Δ_c} decrecerá rápidamente al aumentar L , cuando L es relativamente pequeña. Esto indica que partículas suspendidas con velocidades de caída mucho menores serán removidas completamente a medida que L se incrementa. La rapidez de disminución de v_{Δ_c} disminuye apreciablemente después de que L es mayor de 40. Por lo tanto se aconseja mantener abajo de 40 y preferentemente alrededor de 20.

Derivando la ecuación (52) con respecto a θ e igualando el resultado a cero, se obtiene la siguiente relación:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{1}{L} \quad (54)$$

La segunda derivada de la ecuación (54) con respecto a θ nuevamente es la siguiente:

$$\frac{d^2 \frac{V_{\Delta c}}{V_o}}{d\theta^2} = \frac{2S_c (\cos \theta - L \operatorname{sen} \theta)^2}{(\operatorname{sen} \theta + L \operatorname{cos} \theta)^3} + \frac{S_c}{\operatorname{sen} \theta + L \operatorname{cos} \theta} \quad (55)$$

Puesto que el ángulo de inclinación θ no puede ser mayor de 90° , el lado derecho de la ecuación (55) es siempre positivo, por lo tanto la relación expresada en la ecuación (54) da la mínima $V_{\Delta c}$.

A la entrada del sedimentador existe una región de transición en la cual el flujo turbulento que entra es cambiado gradualmente a flujo laminar por efecto de los límites sólidos.

Streeter (6) recomienda que para valuar la longitud relativa L' para esta región de transición en un tubo circular, se utilice la siguiente ecuación:

$$L' = 0.058 \frac{V_o d}{\gamma} \quad (56)$$

Donde γ es la viscosidad cinemática del fluido. La ecuación (56) también se puede aplicar para otros tipos de dispositivos sedimentadores de alta tasa en forma aproximada.

Eficiencia de remoción fraccional:

$$ERF = 1 + \frac{2}{\pi} (2 \alpha^3 \beta - \alpha \beta - \text{sen}^{-1} \beta) \quad (57)$$

$$\alpha = \left(\frac{3}{4} S\right)^{1/3}$$

$$\beta = 1 - \theta^2$$

$$S = \frac{v_d}{v_o} L, \quad (\text{puesto que } \theta = 0)$$

La ecuación (57) indica que la eficiencia de remoción fraccional es únicamente una función de S.

Las unidades de flujo ascendente dan mejor eficiencia, y la eficiencia relativa de las unidades de flujo descendente disminuye apreciablemente cuando θ o L aumenta.

Puesto que la principal razón para mantener un sedimentador inclinado es conseguir la acción autolimpiante durante la operación de sedimentación. Un sedimentador con flujo descendente requiere solamente de un ángulo de inclinación de -30° para mantener dicha acción. El mayor problema de estas unidades radica en el sistema de recolección de agua decantada en la práctica son más utilizados los sistemas de flujo ascendente.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

4.3.3 Sedimentador de placas paralelas inclinadas, repartición uniforme, tolva de recolección de lodos y extracción por carga hidráulica

Al igual que cualquier sedimentador de este tipo, esta unidad consta de 4 zonas: zona de entrada y distribución del agua, zona de sedimentación, zona de salida y recolección de agua clarificada y zona de recolección de lodos. En este estudio en la repartición uniforme se contemplan las alternativas de canal y tubería con orificios.

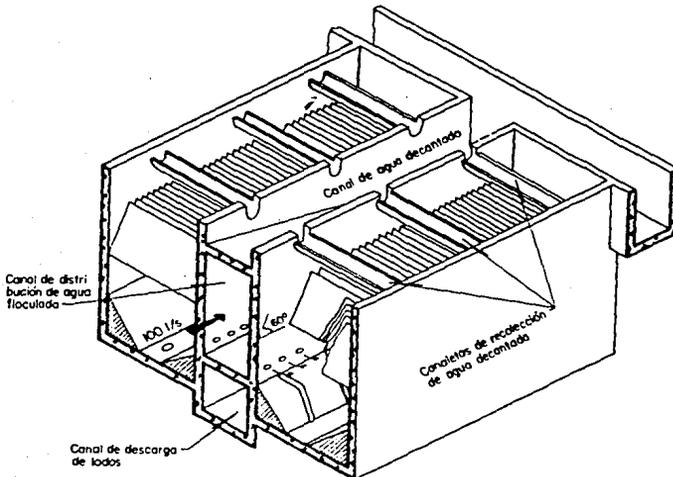


Fig 11. Esquema de un sedimentador de láminas planas paralelas inclinadas a 60°

4.3.3.1 Criterios de diseño

- a) Carga superficial entre 120 y 300 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$, de preferencia menor a 150 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$.
- b) Los periodos de sedimentación normalmente menores a 10 min.
- c) Según Yao la longitud para producir flujo laminar está dado por $l = C * Re$ y $0.035 < C < 0.232$. Se recomienda un valor de $l = 0.05l$.
- d) El número de Reynolds, Re , debe ser menor a 500 y preferentemente menor a 250.
- e) El valor de la inclinación del ángulo debe estar entre 40y 60 grados, se recomienda que sea menor a 50 grados.
- f) La velocidad del fondo menor a 1.25 cm/s.
- g) La velocidad de entrada varía entre 0.1 m/s y 0.2 m/s.
- h) La velocidad de la sección del canal no debe ser mayor a 0.15 m/s.
- i) El gradiente de velocidad en los orificios debe ser me-

nor a 15 s^{-1} .

- j) La velocidad de descarga en los ductos debe ser mínima de 1.5 m/s y preferentemente 2.5 m/s para evitar el depósito de lodos.
- k) La carga hidráulica en las canaletas varía entre 1.3 m y 3.2 , y sobre vertedores varía entre 1.3 y 3.2 l/s.m .
- l) Valor de la constante $S_c = 1$, para placas paralelas.
- ll) Se recomienda una separación entre láminas mayor a 4 y menor a 7 cm .
- m) La separación entre tubos recolectores debe ser mayor a 2 veces la altura mínima de agua sobre las láminas y menor a la longitud real entre módulos.
- n) La desviación de velocidades en cada sección de la zona de entrada, no debe ser mayor de un 10% . Lo mismo sucede en la zona de distribución, no debe haber una desviación mayor al 10% en cada orificio.
- ñ) En el caso de extracción de lodos por tubería la velocidad en el tubo ler. tramo debe ser mayor a 0.8 m/s .

- o) El gasto conducido en el tubo ler. tramo y 2o. tramo debe ser mayor al caudal de diseño.
- p) La velocidad en el tubo a presión varía entre 2 y 7 m/s.
- q) La carga total en extracción de lodos por tubería debe ser ligeramente menor que la carga total en el ler. tramo.

4.3.3.2 Secuencia de cálculo del programa desarrollado

ZONA DE SEDIMENTACION

- Se proporciona el gasto, la velocidad de sedimentación el número de hileras y características de las placas y propiedades del flóculo, así como el número de unidades de sedimentación y de secciones.
- Calcula la velocidad de fondo, el número de Reynolds, la carga superficial aparente, la altura mínima de agua sobre placas, la velocidad de arrastre y la longitud del sedimentador, el número de placas por hilera y por unidad y el ancho de la zona de sedimentación.
- Si el número de Reynolds es mayor a 250, se asigna otro valor de separación de placas.

ZONA DE ENTRADA

- Se proporciona la geometría y el diámetro del canal.
- Calcula la velocidad real en cada sección, la desviación de velocidades, la pérdida de carga y el gradiente de velocidad.
- Si la desviación de velocidades excede al 10% se reinicia el cálculo.

REPARTICION UNIFORME POR CANAL CON ORIFICIOS

- Se proporciona el gasto, el número y diámetro de orificios y altura y ancho del canal.
- Calcula el gasto, la velocidad, la pérdida de carga, el gradiente de velocidad y la desviación de velocidades en los orificios.

REPARTICION UNIFORME POR TUBERIA CON ORIFICIOS

- Se proporciona el número y diámetro de orificios y el programa tiene la versatilidad de aceptar tramos con diferente diámetro.

- Calcula el gasto, la velocidad, la pérdida de carga, el gradiente de velocidad y la desviación de velocidades en los orificios:

CANAL COMUN DE RECOLECCION DE LODOS

- Se proporciona el ancho, la pendiente, la longitud del sedimentador y tirante de aguas abajo.
- Se calcula áreas aguas abajo, velocidad crítica en el canal, tirante aguas arriba, radios hidráulicos aguas arriba, aguas abajo y media, perímetro mojado aguas abajo y pérdida de carga en el canal.

EXTRACCION DE LODOS POR TUBERIA

- Se proporciona la pendiente, el espesor de la losa sobre el tubo, la carga de agua sobre el tanque, la altura del tubo al eje de salida, la velocidad en el tubo, el diámetro, la longitud y el coeficiente de fricción.
- Calcula las cargas y gastos en los tramos de la tubería y el número de tubos necesarios para la extracción.

EXTRACCION DE AGUAS CLARAS POR CANAL

- Se proporciona la separación máxima entre canaletas, longitud total del sedimentador, el número de secciones y gasto por módulo, la longitud y ancho de la canaleta y el bordo libre.
- Calcula el gasto unitario por canaleta, el número de canaletas, la longitud total de recolección, la altura máxima de agua en la canaleta, la altura crítica del agua sobre el fondo, la profundidad de la canaleta y el tirante del vertedor rectangular sin contracción.

4.3.3.3 Formulaciones de diseño

ZONA DE SEDIMENTACION:

- | | | |
|----|--|--|
| a) | Caudal a tratarse, en m^3/s | $Q_d = \frac{Q}{N}$ |
| b) | Velocidad de sedimentación, en m/s | $V_o = \frac{V_s (\text{sen } \theta + \frac{\ell_u}{e} \cos \theta)}{(\frac{C \cdot e}{2v} \cos \theta \cdot v_s) + 1}$ |
| c) | Número de Reynolds | $N_{rl} = \frac{4 R_H V_o}{v}$ |
| d) | Tiempo de detención, en s | $t_o = \ell_u / V_o$ |
| e) | Carga superficial aparente, en $m^3/m^2/d$ | $q = V_o \text{ sen } \theta * 864$ |

- f) Area de sedimentación, en m^2 $A_{\Delta} = Q/q$
- g) Ancho de la zona de sedimentación, en m $B = b \cdot N_1$
- h) Longitud de sedimentación, en m $L = \left(\frac{A_{\Delta}}{B}\right) \left(\frac{e + e_1}{e}\right)$
- i) Longitud total sedimentador, en m $L_t = L + l \cos \theta$
- j) Número placas/hilera $N_2 = \frac{L \cdot \text{sen } \theta}{(e + e_1)} + 1$
- k) Número total de placas/unidad $N^{\circ} = N_1 \cdot N_2$
- l) Velocidad en el fondo, en m/s $V = \frac{b \cdot q}{86,400 \cdot h_1}$
- m) Altura mínima de H_2O sobre placas, en m $h_{\Delta} = C_1 \cdot l \cdot \text{sen } \theta$
- n) Separación máxima entre canaléticas de recolección, en m $S = K \cdot h_{\Delta}$
- o) Velocidad de arrastre, en m/s $V_0 = 125 \cos \theta (d_{\Delta} - d)$

/
ZONA DE ENTRADA

- a) Area en la entrada, en m^2 $A_c = \pi \cdot D^2/4$

- b) Velocidad en la entrada, en m/s $V_1 = Q_d/A_c$
- c) Area en la sección, en m² $A = b_1 \cdot h$
- d) Velocidad en la sección, en m/s $V_c = Q/A$
- e) Coeficiente de Coriolis $B_1 = P(V_c/V_1)^2 + T_h + 1$
- f) Velocidad real en la sección, en m/s $V'1 = \frac{Q}{A_c} \frac{(1/B)^{1/2}}{\text{Sum } (1/B)^{1/2}}$
- g) Desviación de velocidades $D_c = \frac{V'1 - V_1}{V_1}$
- h) Pérdida de carga, en m $h_g = B_1 \frac{V'1^2}{2g}$
- i) Gradiente de velocidad, en s⁻¹ $G = \left(\frac{\rho_0}{\mu_0} V'1 h_g \right)^{1/2}$

ZONA DE DISTRIBUCION

- a) Gasto por orificio, en m³/s $q_o = \frac{Q_d}{W1' N5}$
- b) Area del orificio, en m² $A_o = \frac{\pi d_o^2}{4}$
- c) Velocidad en el orificio, en m/s $V2 = q_o/A_o$
- d) Area de la sección, en m² $A = \pi \cdot D^2/4$

e) Velocidad en la sección, en m/s $V_c = Q/A$

Los cálculos siguientes se repiten del inciso e) al i) de la zona de entrada

EXTRACCION DE LODOS:

- a) Area de tubo lleno ler. tramo, en m^2 $A_h = \pi d_1^2/4$
- b) Radio hidráulico en el ler. tramo, en m $R_h = d_1/4$
- c) Velocidad tubo ler. tramo, en m/s $V_t = L_1/n \cdot R_h^{2/3} \cdot S^{1/2}$
- d) Gasto conducido ler. tramo en m^3/s $Q_c = V_t \cdot A_h$
- e) Carga total, en m $H_{t_1} = H + e_c + h_d$
- f) Carga de velocidad, en m $H_{\delta u} = V_o^2/2g$
- g) Pérdida por fricción en tubería, en m $H_{\delta f} = f \frac{L_1}{D_o} \frac{V_o^2}{2\sigma}$
- h) Pérdida por entrada, en m $H_{\delta e} = K_e \frac{V_o^2}{2}$
- i) Pérdida por codo, en m $H_{\delta c} = K_c \frac{V_o^2}{2\sigma}$

- j) Rugosidad relativa $RR = E/(D_0 \cdot 1000)$
- k) Número de Reynolds $R_e = V_0 C_2$
- l) Carga total, en m $HTZ = H_{fc} + H_{fe} + H_{ff} + H_{fu}$
- m) Area del tubo, en m^2 $A_0 = \pi D_0^2/4$
- n) Gasto por tubo, en m^3/s $Q_0 = A_0 V_0$
- o) Espaciamiento, en m $E_0 = L_n/N_0$
- p) Area del tubo lleno
2o. tramo, en m^2 $Ah_2 = \pi d_2^2/4$

Los cálculos de los incisos b), c) y d) de extracción de lodos se repiten para el segundo tramo.

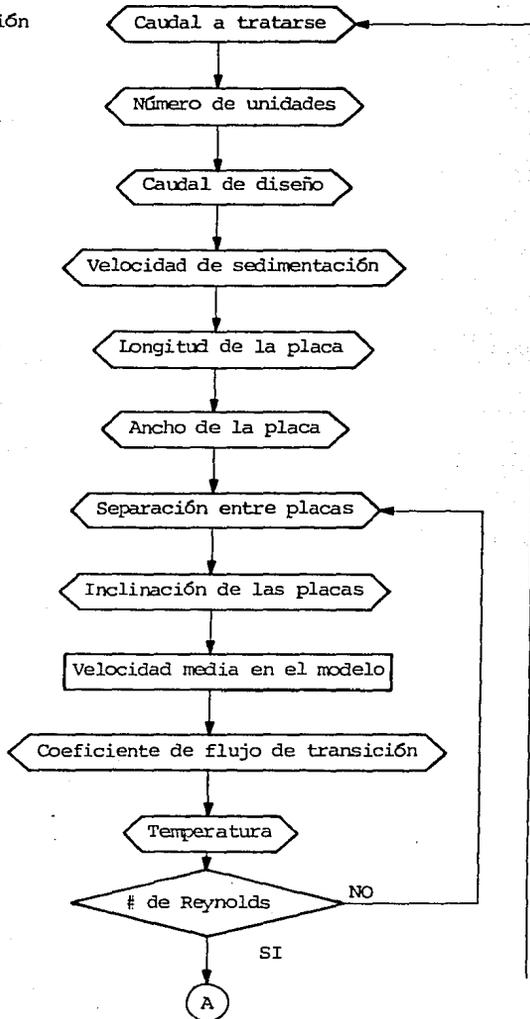
ZONA DE SALIDA: RECOLECCION DE AGUAS CLARAS

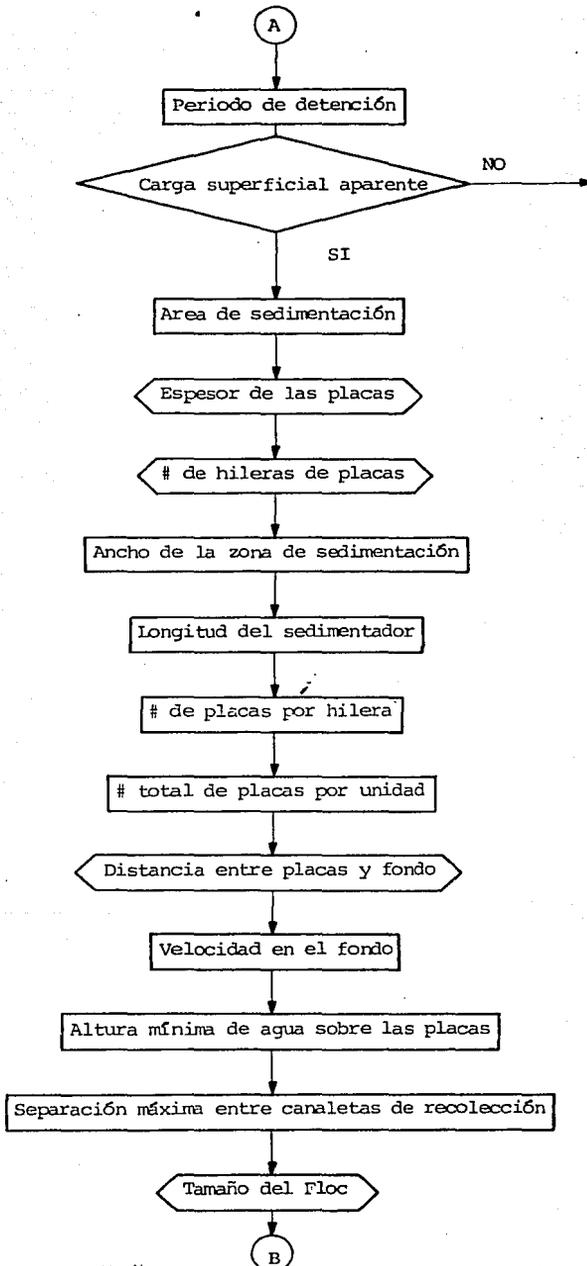
- a) Número de canaletas por sección $N_c = \frac{\text{Longitud sedimentador}}{\text{Separación entre canaletas}}$
- b) Gasto recolectado por canaleta, en m^3/s $Q_{RC} = \frac{\text{Gasto de Sección}}{\text{Número de canaletas}}$
- c) Longitud total de recolección, en m $L_{tr} = N_c \cdot \text{secciones} \cdot \text{longitud canaleta}$

- d) Carga hidráulica sobre canaletas, en m $q_{h_c} = \frac{\text{gasto sección}}{L_{tr}}$
- e) Dimensionamiento de canaletas $h_o = \left(\frac{Q_{RC}}{1.38 \cdot b_2} \right)^{2/3}$
- f) Tirante Crítico, en m $h_c = \left(\frac{Q^2}{g b_2^3} \right)^{1/3}$
- g) Profundidad de canaleta, en m $H = h_o + \text{bordo libre}$
- h) Tirante sobre vertedor rectangular sin contracción, en m $H = \left(\frac{Q}{1.84 L_2} \right)^{2/3}$

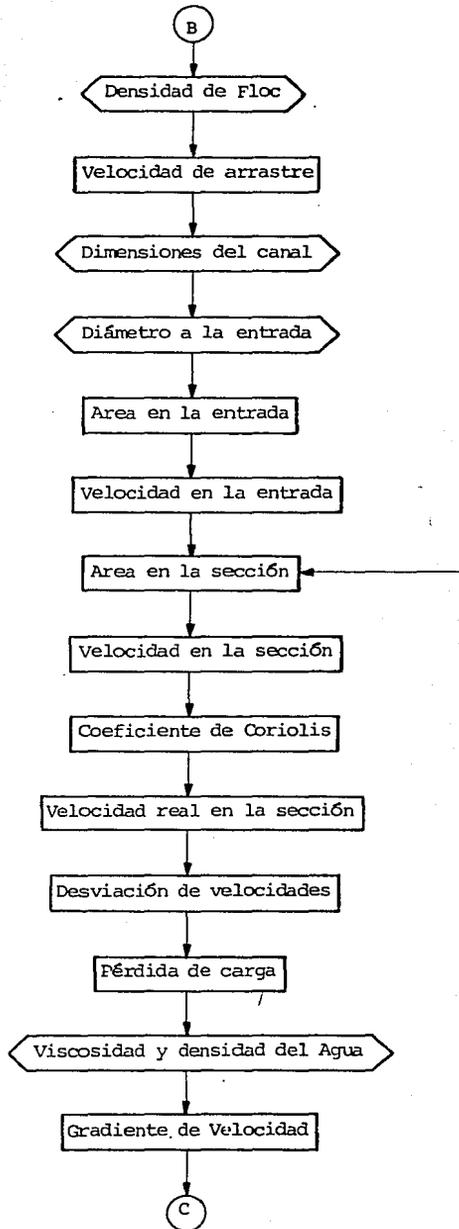
4.3.3.4. DIAGRAMA DE FLUJO SEDIMENTACION

Zona de sedimentación

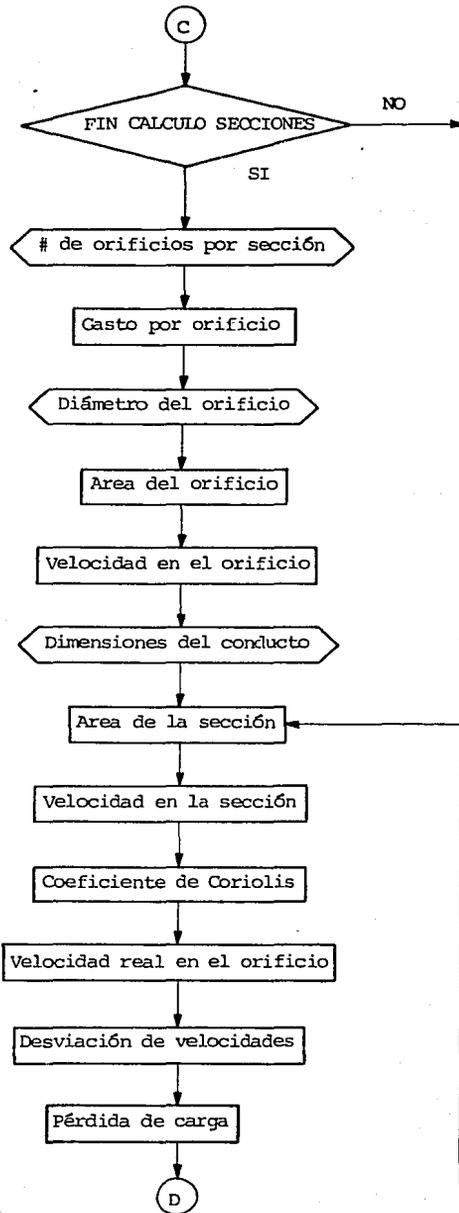




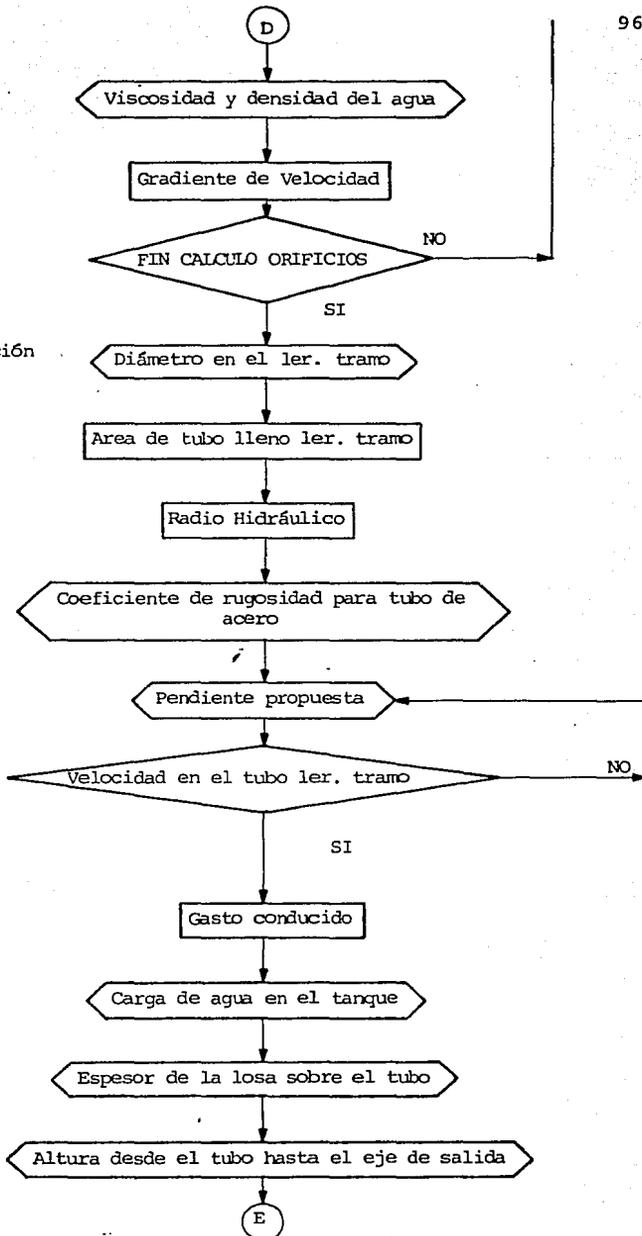
Zona de entrada

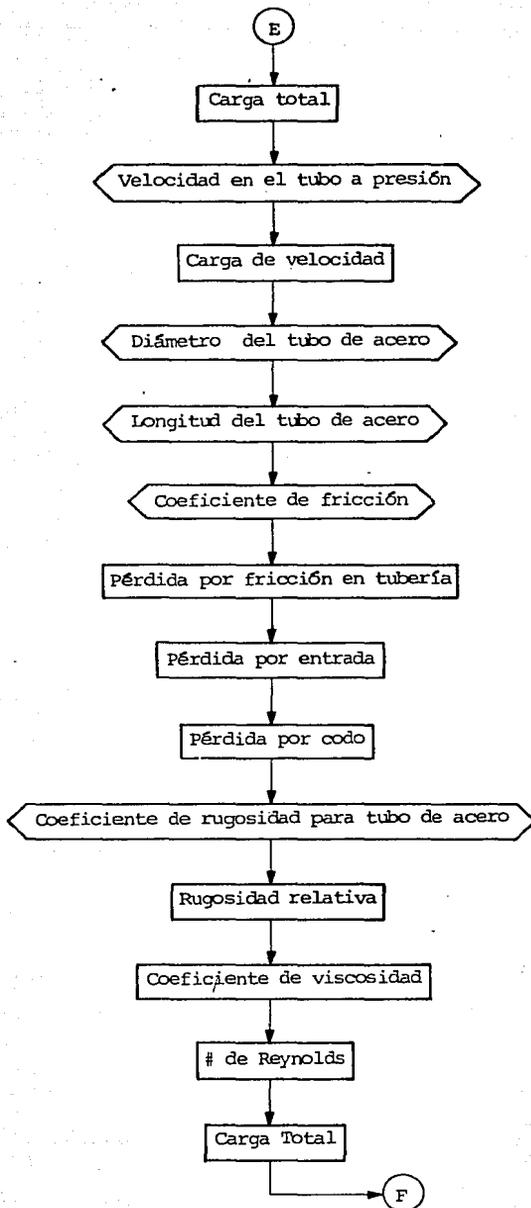


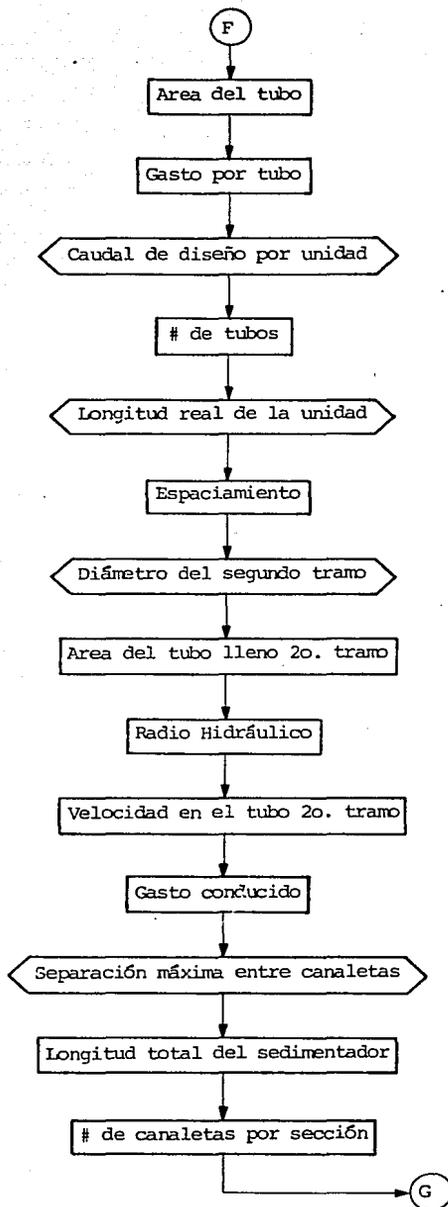
Zona de Distribución



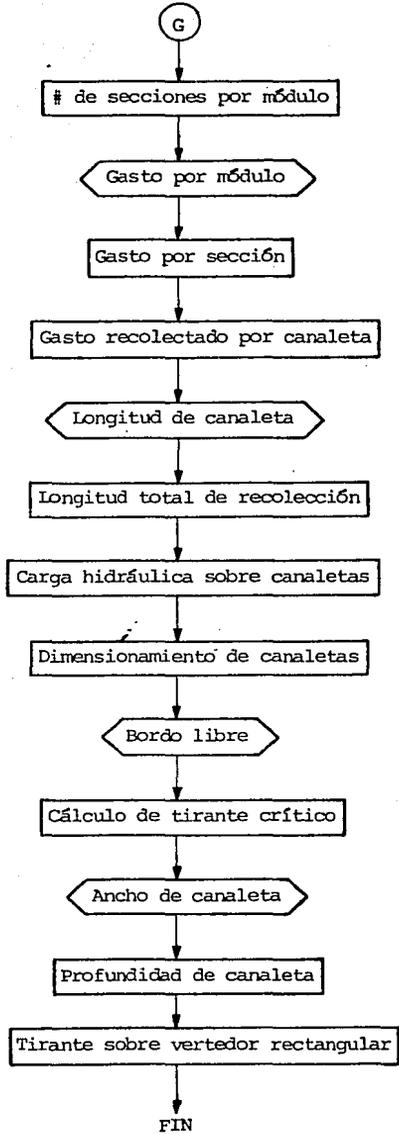
Zona de extracción
de lodos







Zona de Salida



4.3.3.5. EJEMPLO DE CALCULO

RESULTADOS DE LA CORRIDA PARA EL DISEÑO DE UN SEDIMENTADOR
HIDRAULICO DE ALTA TASA, FLUJO ASCENDENTE CON PLACAS
PARALELAS INCLINADAS CON REPARTICION UNIFORME DEL
INFLUENTE CON TOLVA DE RECOLECCION DE LODOS Y
EXTRACCION DE ESTOS POR CARGA HIDRAULICA

1a. PARTE. ZONA DE SEDIMENTACION

GASTO DE DISEÑO	=	0.3	m ³ /s
VELOCIDAD DE SEDIMENTACION	=	0.02	cm/s
LONGITUD DE PLACA	=	122	cm
ANCHO DE PLACA	=	200	cm
INCLINACION PLACAS	=	60	grados
NUMERO HILERAS DE PLACAS	=	2	
ESPESOR DE PLACAS	=	.15	cm
SEPARACION ENTRE PLACAS	=	6	cm
CONSTANTE FLUJO TRANSICION	=	0.05	
DISTANCIA ENTRE PLACAS Y FONDO	=	1.055	
TAMANO DE FLOC	=	0.05	cm
DENSIDAD DEL FLOC	=	1.015	g/cm ³
COEFICIENTE DE SEGURIDAD	=	0.5	
CONSTANTE K DE GRAFICA	=	3.14	
NUMERO DE SECCIONES	=	2	
NUMERO DE REYNOLDS	=	189.6574	
VELOCIDAD DE FONDO	=	0.00306	cm/s
CARGA SUPERFICIAL APARENTE	=	139.589	m ³ /m ² /d
ALTURA MINIMA DE AGUA SOBRE PLACAS	=	0.528	m
VELOCIDAD DE ARRASTRE	=	1.711	cm/s
LONGITUD DE SEDIMENTADOR	=	16.4707	m
SEPARACION MAXIMA ENTRE CANALETAS RECOLECCION	=	1.658	m
NUMERO DE PLACAS POR HILERA	=	224.34	
NUMERO TOTAL PLACAS POR UNIDAD	=	448.692	
ANCHO ZONA SEDIMENTACION	=	4.	m

2a. PARTE. ZONA DE ENTRADA

ALTURA CANAL	=	2.63	m
ANCHO INICIAL CANAL	=	1.	m
ANCHO FINAL CANAL	=	0.7	m
DIAMETRO A LA ENTRADA	=	1.22	m
VELOCIDAD DE ENTRADA	=	.0855	m/s

SECCION	GASTO (m ³ /s)	AREA (m ²)	VELOCIDAD (m/s)	RELACION VELOCIDADES	RAIZ (1/BETA)
1	0.1	2.104	0.047	0.308	0.671
2	0.2	2.367	0.084	0.974	0.548
3	0.3	2.63	0.114	1.776	0.462
SUMATORIA (1/BETA) =				1.6830	

SECCION	VELOCIDAD REAL (m/s)	DESVIACION VELOCIDADES	PERDIDA DE CARGA (m)	GRADIENTE DE VELOCIDAD (s-1)
1	0.102	0.197	0.001	10.542
2	0.083	0.022	0.001	9.522
3	0.070	0.174	0.001	8.750

3a. PARTE. DISTRIBUCION POR TUBERIA Y ORIFICIOS

NUMERO ORIFICIOS POR SECCION =	24	
DIAMETRO DEL ORIFICIO =	0.15	m
DIAMETROS DE TUBERIA DIFERENTES (al diametro inicial y al final)	1	
DIAMETRO INICIAL =	1.22	m
DIAMETRO FINAL =	0.91	m
DIAMETRO MAYOR AL DIAMETRO FINAL Y MENOR AL DIAMETRO INICIAL =	1.07	m

ORIFICIO	GASTO (m3/s)	AREA (m2)	VELOCIDAD DE SECCION (cm/s)	RELACION VELOCIDADES	RAIZ (1/BETA)
1	0.00416	0.65005	0.00640	0.00295	0.76585
2	0.00833	0.65005	0.01281	0.01181	0.76255
3	0.00125	0.65005	0.01922	0.02657	0.75714
4	0.01666	0.65005	0.02563	0.04724	0.74976
5	0.02083	0.65005	0.03204	0.07382	0.74058
6	0.02500	0.65005	0.03845	0.10630	0.72980
7	0.02926	0.65005	0.04486	0.14469	0.71765
8	0.03333	0.65005	0.05127	0.18899	0.70436
9	0.03750	0.89874	0.04172	0.12513	0.72376
10	0.04166	0.89874	0.04636	0.15448	0.71465
11	0.04583	0.89874	0.05099	0.18692	0.71496
12	0.05000	0.89874	0.05563	0.22246	0.69479
13	0.05416	0.89874	0.06026	0.26108	0.68422
14	0.05833	0.89874	0.06490	0.30279	0.67333
15	0.06250	0.89874	0.06954	0.34759	0.66219
16	0.06666	0.89874	0.07417	0.39548	0.65088
17	0.07083	1.16839	0.06062	0.26417	0.68340
18	0.07500	1.16839	0.06419	0.29616	0.67503
19	0.07916	1.16839	0.06775	0.32998	0.66650
20	0.08333	1.16839	0.07132	0.36563	0.65786
21	0.08750	1.16839	0.07488	0.40311	0.64913
22	0.09166	1.16839	0.07845	0.44241	0.64033
23	0.09583	1.16839	0.08202	0.48355	0.63150
24	0.10000	1.16839	0.08558	0.52651	0.62266

SUMATORIA (1/BETA) = 16.66297

ORIFICIO	VELOCIDAD EN ORIFICIO (cm/s)	PERDIDA DE CARGA EN ORIFICIO (m)	GRADIENTE DE VELOCIDAD EN ORIFICIO (s-1)	DESVIACION VELOCIDADES
1	0.13011	0.00147	13.2263	0.10307
2	0.12954	0.00147	13.1978	0.09832
3	0.12833	0.00147	13.1509	0.09053
4	0.12737	0.00147	13.0866	0.07989
5	0.12581	0.00147	13.0062	0.06667

6	0.12398	0.00147	12.9112	0.05115
7	0.12192	0.00147	12.8033	0.03365
8	0.11966	0.00147	12.6842	0.01450
9	0.12296	0.00147	12.8579	0.04245
10	0.12141	0.00147	12.7765	0.02932
11	0.11976	0.00147	12.6896	0.01537
12	0.11803	0.00147	12.5978	0.00072
13	0.11624	0.00147	12.5016	0.01449
14	0.11439	0.00147	12.4017	0.03018
15	0.11249	0.00147	12.2987	0.04622
16	0.11057	0.00147	12.1931	0.06252
17	0.11650	0.00147	12.4940	0.01568
18	0.11468	0.00147	12.4173	0.02774
19	0.11323	0.00147	12.3386	0.04001
20	0.11176	0.00147	12.2584	0.02460
21	0.11028	0.00147	12.1768	0.06504
22	0.10878	0.00147	12.0940	0.07771
23	0.10728	0.00147	12.0102	0.09043
24	0.10578	0.00147	11.9259	0.10317

3a. PARTE : DISTRIBUCION POR CANAL Y ORIFICIOS

CAUDAL A DISTRIBUIR =	0.1	m ³ /s
NUMERO ORIFICIOS POR LADO =	19	
DIAMETRO DEL ORIFICIO =	0.15	m
ALTURA DEL CANAL =	0.70	m
ANCHO DE BASE INICIAL =	1.40	m
ANCHO DE BASE FINAL =	0.70	m

ORIFICIO	GASTO (m ³ /s)	AREA (m ²)	VELOCIDAD SECCION (m/s)	RELACION VELOCIDADES	RAIZ (1/BETA)
1	0.00526	0.50805	0.01035	0.00483	0.76515
2	0.01052	0.52610	0.02000	0.01803	0.76026
3	0.01578	0.54415	0.02901	0.03792	0.75306
4	0.02105	0.56221	0.03744	0.06316	0.74422
5	0.02631	0.58026	0.04535	0.09265	0.73427
6	0.03157	0.59831	0.05277	0.12548	0.72365
7	0.03684	0.61636	0.05977	0.16094	0.71269
8	0.04210	0.63442	0.06636	0.19842	0.70162
9	0.04736	0.65247	0.07259	0.23742	0.69064
10	0.05263	0.67052	0.07849	0.27754	0.67986
11	0.05689	0.68857	0.08407	0.31845	0.66937
12	0.06325	0.70663	0.08937	0.35986	0.65924
13	0.06842	0.72468	0.09441	0.40156	0.64948
14	0.07348	0.74273	0.09920	0.44335	0.64013
15	0.07894	0.76078	0.10377	0.48508	0.63118
16	0.08421	0.77884	0.10812	0.52662	0.62263
17	0.08947	0.79689	0.11227	0.56788	0.61448
18	0.09443	0.81494	0.11624	0.60876	0.60671
19	0.09999	0.83300	0.12004	0.64920	0.59931

SUMATORIA (I/BETA) = 12.95802

ORIFICIO	VELOCIDAD EN EL ORIFICIO	PERDIDA DE CARGA EN ORIFICIO	GRADIENTE DE VELOCIDAD EN ORIFICIO
----------	--------------------------------	------------------------------------	--

	(m/s)	(m)	(s-1)
1	0.15715	0.00243	19.27793
2	0.16608	0.00243	19.21624
3	0.16451	0.00243	19.12508
4	0.16258	0.00253	19.01247
5	0.16041	0.00243	18.88500
6	0.15809	0.00243	18.74793
7	0.15599	0.00243	18.60535
8	0.15327	0.00243	18.46036
9	0.15088	0.00243	18.31528
10	0.14852	0.00243	18.17180
11	0.14623	0.00243	18.03113
12	0.14402	0.00243	17.89407
13	0.14188	0.00243	17.76119
14	0.13984	0.00243	17.63283
15	0.13789	0.00243	17.50914
16	0.13602	0.00243	17.39020
17	0.13424	0.00243	17.27598
18	0.13254	0.00243	17.16640
19	0.13092	0.00243	17.06134

DESVIACION DE VELOCIDADES = 0.19426

4a. PARTE : CANAL COMUN DE RECOLECCION DE LODOS

GASTO =	1000	l/s
ANCHO =	1	m
PENDIENTE =	0	
LONGITUD =	51	m
TIRANTE AGUAS ABAJO =	1.77	m
AREA AGUAS ABAJO EN CANAL =	1.77	m ²
VELOCIDAD CRITICA EN CANAL =	0.564	m/s
TIRANTE AGUAS ARRIBA EN CANAL =	1.78	m
VELOCIDAD MEDIA EN CANAL =	0.563	m/s
RADIO HIDRAULICO MEDIO =	0.390	m
RADIO HIDRAULICO SECCION AGUAS ABAJO =	0.389	m
RADIO HIDRAULICO SECCION AGUAS ARRIBA =	0.39	m
PERIMETRO MOJADO SECCION AGUAS ABAJO =	4.54	m
PERDIDA CARGA EN CANAL =	1.1137	m

4a. PARTE : EXTRACCION DE LODOS POR TUBERIA

DIAMETRO PRIMER TRAMO =	0.45	m
PENDIENTE (propuesta) =	0.0023	
ESPESOR LOSA SOBRE TUBO =	0.2	m
CARGA DE AGUA EN TANQUE =	3.655	m
ALTURA DESDE TUBO A EJE SALIDA =	0.025	m
VELOCIDAD EN TUBO A PRESION =	5.93	m/s
DIAMETRO TUBO DE ACERO =	0.019	m
LONGITUD TUBO DE ACERO =	0.2	m
COEFICIENTE DE FRICCION =	0.0428	
DIAMETRO SEGUNDO TRAMO =	0.61	m

CAUDAL DE DISEÑO POR UNIDAD =	0.1	m ³ /s
GASTO CONDUcido PRIMERA PARTE =	0.136	m ³ /s
GASTO CONDUcido SEGUNDA PARTE =	0.307	m ³ /s
CARGA TOTAL EN PRIMER TRAMO =	3.88	m
CARGA TOTAL EN SEGUNDO TRAMO =	3.872	m
NUMERO DE TUBOS =	29.75	
ESPACIAMIENTO ENTRE TUBOS =	0.553	m

5a. PARTE : EXTRACCION DE AGUAS CLARAS POR CANAL

SEPARACION MAXIMA ENTRE CANALETAS =	1.67	m
LONGITUD TOTAL SEDIMENTADOR =	15.75	m
NUMERO DE SECCIONES POR MODULO =	2	
GASTO POR MODULO =	0.125	m ³ /s
LONGITUD DE CANALETA =	2.	m
ANCHO CANALETA =	0.25	m
BORDO LIBRE =	0.1	m
CARGA HIDRAULICA SOBRE CANALETAS =	1.562	m
GASTO UNITARIO POR CANALETA =	0.006	m ³ /s
NUMERO DE CANALETAS =	10	
LONGITUD TOTAL DE RECOLECCION =	40	m
ALTURA MAXIMA DE AGUA EN CANALETA =	0.068	m
ALTURA DE AGUA CRITICA SOBRE FONDO =	0.039	m
PROFUNDIDAD DE LA CANALETA =	0.168	m
TIRANTE SOBRE VERTEDEDOR =	0.014	m

(rectangular sin contraccion)

5. CONCLUSIONES

- De este estudio se concluye que el mezclador hidráulico dotado de un buen sistema de dosificación de coagulante supera la desventaja de su poca flexibilidad en términos de gradiente de velocidad, que varía en función del gasto. Se debe tener especial cuidado con el programa ya que uno de los 2 datos que se alimentan corresponde al ancho de garganta, W , el cual debe ser exactamente cualquiera de los valores especificados en los estándares.
- La aplicación de la metodología propuesta para floculadores hidráulicos considera, tanto en flujo horizontal como vertical, el poder variar las dimensiones y consecientemente el número y espaciamiento de chicanas de cada cámara que corresponde a una unidad hasta obtener

el gradiente de velocidad adecuado.

- En los floculadores mecánicos se establecen las dimensiones de las paletas y se ajustan las velocidades de rotación hasta obtener los gradientes y potencia recomendados.

- Mediante el programa desarrollado para sedimentación de alta tasa se calcula las condiciones hidráulicas y de diseño de cada una de las 4 zonas del sedimentador, teniendo como única restricción que en la zona de entrada en la repartición de flujo, por medio de tubería el número de orificios debe ser número múltiplo del número de tramos con diferente diámetro.

6. BIBLIOGRAFIA

6.1 Referencias Citadas

1. Richter, C.A., "Mistura Rápida", Tecnologías del Tratamiento de agua para países en desarrollo. Lima, Organización Panamericana de la Salud (OPS), Centro de Estudios Panamericanos para la Ingeniería Sanitaria (CEPIS); Perú, 1977.
2. Sanks, L.R., "Water Treatment Plant Design"; Ed. Ann Arbor Science, Tercera Edición, Michigan, U.S.A., 1971.
3. Trueba, C.S., "Hidráulica", Morais Editores, Cuarta Edición, México, 1959.
4. Ven Te Chow, "Open-Channel Hydraulics", Editorial Mc

Graw-Hill, U.S.A., 1959.

5. CEPIS 13, "Teoría, Diseño y Control de los Procesos de Clarificación del Agua. Organización Panamericana de la Salud (OPS) - Organización Mundial de la Salud (OMS)"; Serie Técnica, Abril, Perú, 1973.
6. Pérez C.J., Canepá V.L., Castro E.M., Rouralta G, "Programa Regional OPS/CEPIS de Mejoramiento de Calidad de Agua para Consumo Humano", Manual de Instrucción; CB4.5.5; Abril, Perú, 1981.
7. Yao K.M., M. Asce, "Design of High Rate Settlers", Journal of the Environmental Engineering Division; October, U.S.A., 1973.

6.2 Referencias Consultadas

- H.E. Hudson Jr. "Density Considerations in Sedimentation". Journal AWWA, pp. 382-386. junio 1972.
- H.E. Hudson Jr. "Physical Aspects of Flocculation" Journal AWWA, pp. 885-892, julio 1965.
- J.D. Walker "High Energy Flocculation and Air-and-Water Back-washing". Journal AWWA, pp. 321-330, marzo 1968.

- R.D. Letterman, J.E. Quon and R.S. Gemmell, "Influence of Rapid-Mix Parameters on Flocculation", Journal AWWA, pp. 716-721, noviembre 1973.
- A.L. Lagvankar and R.S. Gemmell, "A Size-Density Relationship for Flocs", Journal AWWA, pp. 1040-1043, Septiembre 1968.
- Y.A. Argaman, "Pilot Plant Studies of flocculation". Journal AWWA, pp. 775-777, diciembre 1971.
- W. Stumm and CH. R. O'Melia, "Stoichiometry of coagulation", Journal AWWA, pp. 514-539, mayo 1968.
- W.R. Conley Jr. "Clarification Process Integration". Journal AWWA, pp. 1333-1345. Octubre 1965.
- J.W. Moffett "The Chemistry of High Rate Water Treatment". Journal AWWA, pp. 1255-1269. Noviembre 1968.
- W.R. Conley and R.H. Evers, "Coagulation Control". Journal AWWA, pp. 165-174. Febrero 1968.
- S. Kawamura, "Coagulation Considerations". Journal AWWA, pp. 417-423. Junio 1973.

A P E N D I C E

```

10 REM *** ESTE PROGRAMA SE LLAMA "MARINA.BAS"
20 CLS
30 DIM W (20,20)
40 PRINT"2.3.6 EJEMPLO DE CALCULO"
50 PRINT
60 PRINT"          CORRIDA PARA EL DISENO DE CANALES PARSHALL COMO UNIDADES DE MEZC
LADO          RAPIDO Y MEDICION "
70 PRINT
80 PRINT
90 PRINT
100 GOSUB 480
110 PRINT" **** D A T O S ****"
120 INPUT"DAME EL GASTO HIDRAULICO [M3/S]";Q
130 INPUT"DAME EL VALOR DE ANCHO DE GARGANTA [M]";W
140 PRINT
150 P=1000
160 V=.000117
170 GOSUB 550
180 N1=1/N1
190 M=(1/M)^N1
200 HO = M * Q ^ N1
210 D1 = 2 * (D-W) / 3 + W
220 D1 = 2 * (D-W) / 3 + W
230 VO=Q/(HO*D1)
240 Q1 = Q / W
250 GG = 9.810001
260 EO = VO^2 / ( 2 * GG ) + HO + N
270 CO =-GG * Q1 / ((2/3 * GG * EO)^1.5)
280 IF CO>1 OR CO <-1 THEN 1390
290 TE = - ATN (CO / SQR (-CO * CO + 1)) + 1.5708
300 V1 = 2 * SQR (2 * GG * EO / 3) * COS (TE/3)
310 H1 = Q1 / V1
320 F1 = V1 / SQR (GG * H1)
330 PRINT" *** RESULTADOS DE LA CORRIDA PARA EL DISENO DE CANALES PARSHALL ***
"
340 PRINT " NUMERO DE FROUDE F1=" ; F1
350 IF F1 < 4.5 OR F1 > 9 THEN 130
360 H2 = H1 / 2 * (SQR (1 + 8 * F1 ^ 2) - 1)
370 V2 = Q / ( W * H2)
380 H3 = H2 - ( N - K)
390 V3 = Q / ( C * H3)
400 HP = HO + K - H3
410 T = 2 * G / ( V2 + V3)
420 IF T < 0 THEN GOTO 1410
430 PRINT " TIEMPO DE MEZCLADO = " ; T ;"SEG"
440 GV = SQR ( P / V * HP / T)
450 PRINT " GRADIENTE DE VELOCIDAD = " ; GV ;"SEG-1"
460 IF GV < 1000 THEN 130
470 GOTO 960
480 REM ** SUBROUTINA DE LECTURA DE DATOS W(I,J) **
490 FOR I = 1 TO 19
500 FOR J = 1 TO 16
510 READ W(I,J)
520 NEXT J

```

```

540 RETURN
550 REM ** SUBROUTINA DE BUSQUEDA DE DATOS DEL PARA LA W DADA **
560 W = W / .3048
570 FOR I = 1 TO 19
580 IF ABS( W ( I , 1 ) - W ) < .01 THEN 600
590 NEXT I
600 A = W ( I , 2 ) * .3048
610 B = W ( I , 3 ) * .3048
620 C = W ( I , 4 ) * .3048
630 D = W ( I , 5 ) * .3048
640 E = W ( I , 6 ) * .3048
650 F = W ( I , 7 ) * .3048
660 G = W ( I , 8 ) * .3048
670 K = W ( I , 9 ) * .3048
680 N = W ( I , 10 ) * .3048
690 X = W ( I , 11 ) * .3048
700 Y = W ( I , 12 ) * .3048
710 GMA = W ( I , 13 ) * .3048 ^ 3
720 GMI = W ( I , 14 ) * .3048 ^ 3
730 M = W ( I , 15 )
740 N1 = W ( I , 16 )
750 W = W * .3048
760 RETURN
770 DATA 0.25,1.53,1.5,0.583,0.848,1.25,0.5,1,0.083,0.187,0.083,0.125,1.2,0.03,
222,1.609
780 DATA .5,2.04,2,1.292,1.292,1.5,1,2,.25,.375,.167,.25,3.9,.05,.405,1.579
790 DATA .75,2.89,2.833,1.85,1.805,2,1,1.5,.25,.375,.167,.25,8.8,.09,.589,1.55
800 DATA 1.4,5.4,4.06,2,2.771,3,2,3,.25,.75,.167,.25,16,1,.35,.772,1.521
810 DATA 2.5,4.906,3,3.958,3,2,3,.25,.75,.167,.25,33,1,.66,1.506,1.549
820 DATA 3.5,5.5,3.96,4,3.156,3,2,3,.25,.75,.167,.25,50,4,.97,3.24,1.566
830 DATA 4.5,5.885,5,6.364,3,2,3,.25,.75,.167,.25,67,9,1.26,3.973,1.578
840 DATA 5.5,6.375,6,7.552,3,2,3,.25,.75,.167,.25,85,6,2.22,3.707,1.589
850 DATA 6.7,6.865,7,8.75,3,2,3,.25,.75,.167,.25,103,5,2.63,4.441,1.594
860 DATA 7.7,5.7,3.54,8,9.948,3,2,3,.25,.75,.167,.25,121,4,4.08,5.174,1.6
870 DATA 8.8,7.844,9,11.146,3,2,3,.25,.75,.167,.25,139,5,4.62,5.908,1.607
880 DATA 10,9,14,12,15.604,4,3,6,.5,1.125,1,.75,200,9,1.7,378,1.6
890 DATA 12,10,16,14,667,18,396,5,3,8,.5,1.125,1,.75,350,9,1.8,844,1.6
900 DATA 15,11,5,25,18,333,25,6,4,10,.75,1.15,1,.75,600,9,1.10,446,1.6
910 DATA 20,14,25,24,30,7,6,12,1,2,25,1,.75,1000,10,13,216,1.6
920 DATA 25,16,5,25,29,333,35,7,6,13,1,2,25,1,.75,1200,15,15,766,1.6
930 DATA 30,19,26,34,667,40,396,7,6,14,1,2,25,1,.75,1500,15,18,456,1.6
940 DATA 40,24,27,45,333,50,792,7,6,16,1,2,25,1,.75,2000,20,23,796,1.6
950 DATA 50,29,27,56,667,60,792,7,6,20,1,2,85,1,.75,3000,25,29,136,1.6
960 REM !IMPRESION DE RESULTADOS!
970 PRINT
980 PRINT /
990 PRINT" LOS DATOS DEL ARCHIVO PARA ESE VALOR DE GARGANTA SON : "
1000 PRINT"A (M)":"";A
1010 PRINT"E (M)":"";B
1020 PRINT"C (M)":"";C
1030 PRINT"D (M)":"";D
1040 PRINT"E (M)":"";E
1050 PRINT"F (M)":"";F
1060 PRINT"G (M)":"";G

```

```

1070 PRINT "K (M)=";K
1090 PRINT "X (M)=";X
1100 PRINT "Y (M)=";Y
1110 PRINT "GASTO MAXIMO DEL EFLUENTE =" ;GMA;"M3/S"
1120 PRINT "GASTO MINIMO DEL EFLUENTE =" ;GMI;"M3/S"
1130 PRINT
1140 PRINT
1150 PRINT " *** RESULTADOS EN LA SECCION DE MEDICION *** "
1160 PRINT "NIVEL DEL AGUA = ";HO;"M"
1170 PRINT "LONGITUD DEL PARSHALL = ";D1;"M"
1180 PRINT "VELOCIDAD DEL AGUA = ";VO;"M/S"
1190 PRINT "GASTO ESPECIFICO EN LA GARGANTA DEL PARSHALL = ";G1;"M3/S/M"
1200 PRINT " CARGA HIDRAULICA DISPONIBLE = ";EO;"M"
1210 PRINT
1220 PRINT
1230 PRINT " *** RESULTADOS EN LA SECCION : ANTES DEL RESALTO *** "
1240 PRINT " NIVEL DEL AGUA = ";H1;"M"
1250 PRINT " VELOCIDAD DEL AGUA = ";V1;"M/S"
1260 PRINT
1270 PRINT
1280 PRINT " *** RESULTADOS EN LA SECCION : RESALTO *** "
1290 PRINT " NIVEL DEL AGUA = ";H2;"M"
1300 PRINT " VELOCIDAD DEL AGUA = ";V2;"M/S"
1310 PRINT " PERDIDA DE CARGA = ";HP;"M"
1320 PRINT
1330 PRINT
1340 PRINT " *** RESULTADOS EN LA SECCION : SALIDA *** "
1350 PRINT "NIVEL DEL AGUA = ";H3;"M"
1360 PRINT "VELOCIDAD DEL AGUA = ";V3;"M/S"
1370 PRINT "SI DESEA HACER OTRO CALCULO OPRIMA LA TECLA F2 "
1380 END
1390 PRINT "ERROR COSENO DEL ANGULO MAYOR A 1"
1400 GOTO 130
1410 PRINT "ERROR TIEMPO NEGATIVO"
1420 GOTO 130
1430 REM @@ ESTE PARSHALL OPERA EN LOS SIGUIENTES RANGOS @@
1440   O (GASTO M3/S)           W (ANCHO DE CANALETA (M))
1450   .02                     .3048
1460   .04                     .6096
1470   .05 .06 .07 9.000001E-02 .9144
1480   .08 .07 ----- 1.2192
1490   .1 ----- 1.524
1500   .1 ----- 1.8288
1510   .2 ----- 2.4384
1520   .3 ----- 3.048
1530   .3 ----- 3.6576
1540   .4 ----- 3.048

```

```

10 REM *** ESTE PROGRAMA CALCULA FLOCULADORES HIDRAULICOS DE PANTALLAS DE FLUJO
    HORIZONTAL Y VERTICAL ***
20 CLS
30 INPUT "ESCOJA EL TIPO DE FLOCULADOR : HORIZONTAL = 1 O VERTICAL = 2" : F
40 IF F=2 THEN GOTO 80
50 PRINT"3.4.6 EJEMPLOS DE CALCULO"
60 PRINT
70 PRINT"3.4.6.1 CORRIDA PARA EL DISENO DE FLOCULADORES HIDRAULICOS DE
    PANTALLAS CON FLUJO HORIZONTAL" : GOTO 90
80 PRINT"3.4.6.2 CORRIDA PARA EL DISENO DE FLOCULADORES HIDRAULICOS DE
    PANTALLAS CON FLUJO VERTICAL"
90 PRINT
100 PRINT
110 PRINT"**** DATOS ****"
120 PRINT
130 PRINT
140 INPUT "DAME EL GASTO TOTAL DE DISENO (M3/S)":Q
150 INPUT "DAME EL TIEMPO DE FLOCULACION TOTAL (MIN)":T
160 INPUT "DAME LA PROFUNDIDAD DEL FLOCULADOR (M)":H
170 INPUT "DAME LA LONGITUD DEL FLOCULADOR (M)":L
180 INPUT "DAME EL NUMERO DE CAMARAS":N
190 M=.013
200 PE=1000
210 VS=.000117
220 T1 = T / N
230 V = 60 * Q * T
240 A = V / H / L
250 A1 = A / N
260 PRINT
270 PRINT
280 PRINT" *** R E S U L T A D O S *** "
290 FOR I = 1 TO N
300 PRINT
310 PRINT
320 PRINT
330 PRINT"PARA LA CAMARA (":I:") : "
340 PRINT "DAME EL GRADIENTE DE VELOCIDAD (A PROBAR) (SEG -1 ) G(":I:") = " :INPU
T G(I)
350 PRINT
360 IF F=2 GOTO 660
370 N(I) = .045 * (H*L*Q(I)/Q**2*T1)**(1/3)
380 E(I) = L/N(I)
390 PRINT"ESPACIAMIENTO ENTRE CHICANAS=":E(I):"M"
400 V1(I) = Q / E(I)/H
410 V2(I)=2*V1(I)/3
420 L1(I) = 60 * V1(I)* T1
430 R(I) = E(I) * H/(E(I) + 2 * H)
440 H1(I) = (M*V1(I)/R(I)**(2/3))**2*L1(I)
450 H2(I) =(((N(I)+1)*V1(I)**2+N(I) * V2(I)**2)/2/9.8
460 HF(I) = H1(I) + H2(I)
470 T2 = T1 * 60
480 G1(I)=(PE *HF(I)/VS/T2)**.5
490 PRINT"NUMERO DE CANALES ENTRE CHICANAS = ":N(I)
500 PRINT"GRADIENTE DE VELOCIDAD (CALCULADO) =":G1(I):"SEG-1"
510 PRINT"PERDIDA DE CARGA CONTINUA =":H1(I):"M"
520 PRINT"PERDIDA DE CARGA EN GIROS DE 180 GRADOS =":H2(I):"M"

```

```

530 PRINT"PERDIDA DE CARGA EN LA CAMARA =" ;HP(I);"M"
540 PRINT"VELOCIDAD EN CANALES ENTRE CHICANAS =" ;V1(I);"M/S"
550 PRINT"VELOCIDAD EN LOS PASAJES =" ;V2(I);"M/S"
560 PRINT"EXTENSION TOTAL DE LOS CANALES =" ;L1(I);"M"
570 PRINT"RADIO HIDRAULICO =" ;R(I);"M"
580 HT = HP(I) + HT
590 NEXT I
600 PRINT"PERDIDA DE CARGA TOTAL =" ;HT;"M"
610 PRINT"VOLUMEN TOTAL DEL FLOCULADOR =" ;V;"M3"
620 PRINT" SI DESEA HACER OTRO CALCULO OPRIMA LA TECLA CORRESPONDIENTE "
630 INPUT " SI = 0 , NO = 1 ";SS
640 IF SS = 0 GOTO 20
650 END
660 N(I) = .045 * ((A1*L*G(I)/Q)^2 * T1)^(1/3)
670 E(I) = L/N(I)
680 PRINT"ESPACIAMIENTO ENTRE CHICANAS =" ;E(I);"M"
690 V1(I) = Q/A1/E(I)
700 V2(I) = 2*V1(I)/3
710 L1(I) = 60 * V1(I) * T1
720 R(I) = A1 * E(I)/(2*(A1+E(I)))
730 GOTO 440

```

```
REM *** ESTE PROGRAMA CALCULA GRADIENTES DE VELOCIDAD PARA FLOCULADORES MECANICOS DE EJE VERTICAL CON PALETAS PERPENDICULARES ***
```

```
CLS
```

```
PRINT
```

```
PRINT " 3.5.6. EJEMPLOS DE CALCULO "
```

```
PRINT
```

```
PRINT " 3.5.6.1 CORRIDA PARA EL DISENO DE FLOCULADORES MECANICOS DE EJE VERTICAL CON PALETAS PERPENDICULARES AL EJE "
```

```
PRINT
```

```
PRINT
```

```
PRINT " *** D A T O S *** "
```

```
0 PRINT
```

```
0 PRINT
```

```
0 PRINT
```

```
0 INPUT "DAME EL LADO DEL TANQUE DE FLOCULACION (M)":L
```

```
0 INPUT "DAME LA ALTURA UTIL DEL TANQUE DE FLOCULACION (M)":H
```

```
0 INPUT "DAME EL NUMERO DE CAMARAS ":NC
```

```
0 INPUT "DAME LA VELOCIDAD DE ROTACION N(RPM)":N
```

```
0 INPUT "DAME EL NUMERO DE PALETAS EN CADA CAMARA ":NP
```

```
0 VS = .000117
```

```
0 V=L^2*H/NC
```

```
0 FOR I=1 TO NC
```

```
0 PRINT
```

```
0 PRINT
```

```
0 PRINT "DAME LAS DIMENSIONES DE LAS PALETAS PARA LA CAMARA (":I:"): "
```

```
0 PRINT "LARGO (M) (":I:"): INPUT L(I)
```

```
0 PRINT "ANCHO (M) (":I:"): INPUT B(I)
```

```
0 LB(I) = L(I)/B(I)
```

```
0 IF LB(I)<=3 THEN CD(I) = 1.16
```

```
0 IF ((LB(I)>3) AND (LB(I)<12.5)) THEN CD(I)=1.2
```

```
0 IF ((LB(I)>12.5) AND (LB(I)<=20)) THEN CD(I)=1.5
```

```
0 IF LB(I) > 20 THEN CD(I)=1.9
```

```
0 IF ((N > 2.5) AND (N < 5)) THEN K(I) = .24
```

```
0 IF N > 5 THEN K(I) = .2
```

```
0 G(I) = 56*(CD(I)*(1-K(I))^3 + (N/60)^3*NP*B(I)*L(I)^4/VS/V)^.5
```

```
0 PRINT
```

```
0 PRINT
```

```
0 PRINT " RESULTADOS PARA LA CAMARA (":I:"): "
```

```
0 PRINT "GRADIENTE DE VELOCIDAD = ": G(I); "SEG-1"
```

```
0 NEXT I
```

```
0 PRINT " SI DESEA HACER OTRO CALCULO OPRIMA LA TECLA CORRESPONDIENTE "
```

```
0 INPUT " SI=0 , NO=1 ":SS
```

```
0 IF SS=0 GOTO 10
```

```
0 END
```

10 REM *** ESTE PROGRAMA CALCULA VELOCIDADES DE ROTACION Y POTENCIAS PARA UN F
LUCADOR MECANICO DE PALETAS PARALELAS ***

CLS
PRINT "3.5.6.2 CORRIDA PARA EL DISEÑO DE FLOCULADORES MECANICOS DE EJE
VERTICAL CON PALETAS PARALELAS AL EJE"

```
PRINT
PRINT
PRINT "*** D A T O S ***"
PRINT
PRINT
INPUT "DAME EL FLUJO VOLUMETRICO (M3/S)":Q
0 INPUT "DAME EL TIEMPO DE FLOCULACION PARA T=30 A T=40 (MIN)":T
0 INPUT "DAME EL # DE CAMARAS DE FLOCULACION EN SERIE":NC
0 INPUT "DAME LA LONGITUD DE LA PALETA (M)":L
0 INPUT "DAME EL ANCHO DE LA PALETA (M)":B
0 INPUT "DAME LA PROFUNDIDAD DEL TANQUE DE FLOCULACION (M)":P
0 INPUT "DAME EL # DE POSICIONES PARA LAS PALETAS":N
0 INPUT "DAME EL # DE PALETAS EN CADA POSICION":NF
0 N=15
0 VS=1.000117
0 V=2040IT
0 VI=V/NC
0 EI=(VI/P)*.5
0 LB=L/B
0 IF LB<3 THEN CI=1.15
0 IF (LB<3)AND(LB<12.5) THEN CI=1.1
0 IF (LB<12.5)AND(LB<20) THEN CI=1.5
0 IF LB<20 THEN CI=1.9
0 FOR I=1 TO N
0 PRINT "DAME LA DISTANCIA DE LA PALETA AL EJE PARA LA ("I:") POSICION EN M"
0 INPUT R(I)
0 NR = R(I)*B + NR
0 NEXT I
0 NR = 1.405*(NR+1)*(V+VI)*CI*(B*P*NF*NC)*.0001
0 FOR I=1 TO NC
0 PRINT
0 PRINT "PARA LA CORRIENTE ("I:")"
0 INPUT "DAME EL GRADIENTE DE VELOCIDADES (M/SEG)":G(I)
0 NR(I) = NR + G(I) * (R(I) - 1) * 1800000
0 VT = 2 * 3.1416 * NR(I) * 60 * 3.13
0 IF VT < 3 AND VTR < 3 THEN 405
0 GOTO 270
0 PR(I) = VS + VI + G(I)*2
0 PD(I) = PR(I) / 75.42371
0 PM(I) = 2.54*PR(I)
0 PRINT "VELOCIDAD DE ROTACION = " : NR(I) : "RPM"
0 PRINT "POTENCIA APLICADA AL AGUA = " : PR(I) : "HP"
0 PRINT "POTENCIA MOTOR ELECTRICO = " : PM(I) : "HP"
0 NEXT I
0 PRINT "¿ DESEA REPETIR OTRO CALCULO OPRIMA LA TECLA CORRESPONDIENTE"
0 INPUT "SI=0 , NO=1":SS
0 IF SS=0 GOTO 10
0 END
```

```

10 REM *** ESTE PROGRAMA CALCULA UN SEDIMENTADOR HIDRAULICO DE ALTA TASA CON PLACAS PARALELAS INCLINADAS, CON TOLVA DE RECOLECCION DE LÓDOS Y EXTRACCION DE ESTOS POR CARGA HIDRAULICA Y REPARTICION UNIFORME DEL INFLUENTE ***
20 CLS
30 DIM DH(90),AC(90),Q(90),VC(90),R(90),AL(90),BE(90),IB(90)
40 DIM D3(90),A3(90),QO(90),V3(90),RO(90),AF(90),B3(90),I3(90),G(90),HF(90),VR(90),DE(90),Y2(10010)
50 PRINT " *** PRIMERA PARTE : ZONA DE SEDIMENTACION ***"
60 INPUT "DAME EL CAUDAL A TRATARSE EN M3/S "; Q
70 INPUT "DAME EL # DE UNIDADES DE SEDIMENTACION"; N
80 INPUT "DAME LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACION EN CM/S"; VS
90 INPUT "DAME LA LONGITUD DE LA PLACA EN CM "; L
100 INPUT "DAME EL ANCHO DE LA PLACA EN CM "; B
110 INPUT "DAME LA INCLINACION DE LAS PLACAS EN GRADOS "; TE
120 INPUT "DAME EL NUMERO DE HILERAS DE PLACAS "; N1
130 INPUT "DAME EL ESPESOR DE LAS PLACAS EN CM "; E1
140 INPUT "DAME LA SEPARACION ENTRE PLACAS EN CM"; E
150 MU = .01146
160 INPUT "ESCOGE LA CONSTANTE DEL FLUJO DE TRANSICION ENTRE 0.035 Y 0.232"; C1
170 INPUT "DAME LA DISTANCIA ENTRE LAS PLACAS Y EL FONDO EN M "; H
180 INPUT "DAME EL TAMANO DE FLOC EN CM"; TF
190 INPUT "DAME LA DENSIDAD DE FLOC EN G/CM3"; DF
200 INPUT "DAME EL COEFICIENTE DE SEGURIDAD"; C
210 INPUT "DAME LA CONSTANTE K DE GRAFICA"; K
220 INPUT "DAME EL NUMERO DE SECCIONES"; NP1
230 GOTO 250
240 INPUT "INTENTA CON OTRO VALOR DE SEPARACION / PLACAS EN CM"; E
250 QD=Q/N
260 QD1=QD*86400!
270 LU=L-(E/TAN(TE*.0174532))
280 VO1=VS*(SIN(TE*.0174532)+LU*COS(TE*.0174532)/E)
290 VO2 = C1*E*COS(TE*.0174532)*VS/2/MU+1
300 VO=VO1/VO2
310 RH=B*E/2/(E+E)
320 NR=4*RH*VO/MU
330 IF NR<=250 THEN 350
340 GOTO 240
350 QO = LU/(VO*60)
360 QS=VO*SIN(TE*.0174532)*864
370 IF QS<=60 AND QS<=150 THEN 390
380 GOTO 20
390 AS=QD1/QS
400 BS=B*.01*N1
410 LS=AS*(E+E1)/BS/E
420 LT=LS+L*.01*COS(TE*.0174532)
430 N2=LS*SIN(TE*.0174532)/((E+E1)*.01)+1
440 NT=N1*N2
450 V=B*.01*QS/86400!/H
460 HS=C*L*.01*SIN(TE*.0174532)
470 SC1=HS*K
480 VA=125 *COS(TE*.0174532)*((DF-1)*TF)^.5
490 CLS
500 PRINT"# REYNOLDS =" ; NR
510 PRINT"VELOCIDAD DE FONDO <1.25CM/S"; V;"CM/S"

```

```

520 PRINT"CARGA SUPERFICIAL APARENTE=";QS;"M3/M2/D"
530 PRINT"ALTURA MINIMA DE AGUA SOBRE LAS PLACAS=";HS;"M"
540 PRINT"VELOCIDAD DE ARRASTRE=";VA;"CM/S"
550 PRINT"LONGITUD DEL SEDIMENTADOR=";LT;"M"
560 PRINT"SEPARACION MAXIMA ENTRE CANALETAS DE RECOLECCION=";SC1;"M"
570 PRINT"NUMERO DE PLACAS POR HILERA=";N2
580 PRINT"NUMERO TOTAL DE PLACAS POR UNIDAD";NT
590 PRINT"ANCHO DE LA ZONA DE SEDIMENTACION=";BS;"M"
600 PRINT" SI DESEA CONTINUAR CON LA SEGUNDA PARTE :ZONA DE ENTRADA OPRIMA LA T
ECLA CORRESPONDIENTE"
610 INPUT " SI = 0 , NO = 1 ";ZZ
620 IF ZZ = 1 GOTO 10
630 CLS
640 PRINT"*** SEGUNDA PARTE : ZONA DE ENTRADA *** "
650 INPUT "DAME LA ALTURA DEL CANAL EN M";HC
660 INPUT " DAME EL ANCHO INICIAL DEL CANAL EN M";BI
670 INPUT " DAME EL ANCHO FINAL DEL CANAL EN M";BF
680 FI=1.67
690 TT=.7
700 INPUT "DAME EL DIAMETRO A LA ENTRADA EN M";DC
710 AC=.785*DC^2
720 RO=102
730 PE2=.0001116
740 VI=QD/AC
750 CLS
760 PRINT"VELOCIDAD ENTRADA .1 Y <.2 M/S =" ;VI
770 D=(BI-BF)/N
780 BB=BF
790 FOR I=1 TO N
800 DH(I) = BB-D
810 EE=DH(I)
820 AC(I) = DH(I) * HC
830 Q(I) = A+QD
840 A = Q(I)
850 VC(I)=Q(I)/AC(I)
860 R(I) = (VC(I)/VI)^2
870 AL(I)=FI*R(I)+TT
880 EE(I)=AL(I) +1
890 IB(I)=(1/EE(I))^5
900 IB = IB(I)+IB
910 PRINT"GASTO (";I;")=";Q(I);"m3/s"
920 PRINT"AREA(";I;")=";AC(I);"m2"
930 PRINT"VELOCIDAD EN CADA SECCION DEL CANAL <.15M/S (";I;")=";VC(I);"m/s"
940 PRINT"RELACION DE VELOCIDADES (";I;")=";R(I)
950 PRINT"ALFA (";I;")";AL(I)
960 PRINT"BETA (";I;")";BE(I)
970 PRINT"RAIZ (1/BETA) (";I;")";IB(I)
980 NEXT I
990 PRINT"SUMATORIA (1/BETA)";IB
1000 FOR I=1 TO N
1010 VL(I)=Q/AC*IB(I)/IB
1020 DE(I)=(VL(I)-VI)/VI
1030 PRINT"VELOCIDAD REAL EN CADA SECCION(";I;") .1 Y <.2M/S=";VL(I);"m/s"
1040 PRINT"DESVIACION DE VELOCIDADES <10% (";I;")=";DE (I)

```

```

1050 PC(I)=BE(I)*VL(I)^2/19.62
1060 PRINT"PERDIDA DE CARGA (";I;")=";PC(I);"M"
1070 GV(I)=(RO*VL(I)*PC(I)/PE2)^.5
1080 PRINT"GRADIENTE DE VELOCIDAD(";I;")=";GV(I);"S-1"
1090 NEXT I
1100 PRINT"SI DESEA CONTINUAR CON LA TERCERA PARTE : DISTRIBUCION OPRIMA LA TECLA
CORRESPONDIENTE"
1110 INPUT" SI = 0 , NO = 1 ";ZZ
1120 IF ZZ=1 GOTO 10
1130 CLS
1140 PRINT" ***TERCERA PARTE :DISTRIBUCION***"
1150 PRINT" ESCOJA QUE OPCION DESEA OPRIMIENDO LA TECLA CORRESPONDIENTE "
1160 PRINT" DISTRIBUCION POR TUBERIA = 0 "
1170 INPUT " DISTRIBUCION POR CANAL = 1 ";MR
1180 IF MR=1 THEN GOTO 3160
1190 PRINT"*** TERCERA PARTE : DISTRIBUCION POR TUBERIA Y ORIFICIOS***"
1200 PRINT"OBSERVACION : EL NUMERO DE ORIFICIOS DEBE SER MULTIPLO DEL NUMERO DE
TRAMOS DE TUBERIA"
1210 INPUT "DAME EL # ORIFICIOS POR SECCION";NO
1220 INPUT"DAME EL DIAMETRO DEL ORIFICIO EN M";DO
1230 INPUT "DAME CUANTOS DIAMETROS DE TUBERIA DIFERENTES A EL INICIAL Y EL FINAL
DESEAS";XX
1240 INPUT "DAME EL DIAMETRO INICIAL EN M";D3(2+XX)
1250 INPUT "DAME EL DIAMETRO FINAL EN M";D3(1)
1260 FOR I=2 TO (1+XX)
1270 PRINT"DAME EL DIAMETRO MAYOR AL DIAMETRO FINAL Y MENOR AL DIAMETRO INICIAL
(";I;")="; INPUT D3(I)
1280 NEXT I
1290 AS3=.785*DO^2
1300 QD=QD/NP1/NO
1310 V1=QD/AS3
1320 IF V1>=.1 AND V1<=.2 GOTO 1350
1330 PRINT"ERROR :VELOCIDAD REAL EN LA SECCION FUERA DEL RANGO ENTRE .1 Y .2 M/S
"
1340 GOTO 1000
1350 D14=DO*(1+XX)
1360 ON=QD/NO
1370 FOR J=1 TO (2+XX) :PRINT"***J=";J
1380 CC=1+FF :PRINT"***CC.FF";CC,FF
1390 DD=FF+D14:PRINT"***DD";DD
1400 FOR I=CC TO ID :PRINT"@@@ I=";I
1410 FF=DD
1420 AA=D3(I)
1430 A3(I)=D3(J)^2*.785
1440 QD(I)=QD+ON
1450 AD=QD(I)
1460 V3(I)=QD(I)/A3(I)
1470 RQ(I)=(V3(I)/V1)^2
1480 AF(I)=FI*RO(I)+TT
1490 B3(I)=AF(I)+1
1500 I3(I)=(1/B3(I))^1.5
1510 I3=I3(I)+I3
1520 CLS
1530 PRINT"GASTO (";I;")=";QD(I);"M3/S"
1540 PRINT"AREA (";I;")=";A3(I);"M2"

```

```

1550 PRINT"VELOCIDAD DE SECCION < .15CM/S(";I;")=";V3(I)
1560 PRINT"RELACION DE VELOCIDADES (";I;")=";RO(I)
1570 PRINT"CONSTANTE ALFA (";I;")=";AF(I)
1580 PRINT"CONSTANTE BETA (";I;")=";B3(I)
1590 PRINT"RAIZ CUADRADA DEL INVERSO DE BETA (";I;")=";I3(I)
1600 NEXT I
1610 NEXT J
1620 PRINT"I3=";I3
1630 FOR I=1 TO NO
1640 VR(I)=QD/2/AS3*I3(I)/I3
1650 PRINT"VELOCIDAD EN EL ORIFICIO > .1 Y < .2CM/S(";I;")=";VR(I);"cm/s"
1660 HF(I)=B3(I)*VR(I)^2/19.62
1670 PRINT"PERDIDA DE CARGA EN EL ORIFICIO (";I;")=";HF(I);"M"
1680 G(I)=(RO*VR(I)*HF(I)/PE2)^.5
1690 PRINT"GRADIENTE DE VELOCIDAD EN EL ORIFICIO (";I;")=";G(I);"S-1"
1700 DE(I)=(VR(I)-V1)/V1
1710 PRINT"DESVIACION DE VELOCIDADES<10% (";I;")=";DE(I)
1720 NEXT I
1730 PRINT"DESEA CONTINUAR CON LA CUARTA PARTE"
1740 INPUT " OPRIMA SI=1 , NO=0 ";Y
1750 IF Y=0 THEN GOTO 1130
1760 CLS
1770 PRINT"CUARTA PARTE :RECOLECCION DE LODOS"
1780 PRINT"ESCOJA QUE TIPO DE RECOLECCION DESEA OPRIMIENDO LA TECLA CORRESPONDIENTE"
1790 PRINT"EXTRACCION DE LODOS POR CANAL = 0"
1800 INPUT"EXTRACCION DE LODOS POR TUBERIA = 1";MR
1810 IF MR=1 THEN GOTO 2310
1820 CLS
1830 PRINT"*** CUARTA PARTE:CANAL COMUN DE RECOLECCION DE LODOS***"
1840 INPUT "CUAL ES EL GASTO EN (L/S) .....";Q
1850 INPUT "CUAL ES EL ANCHO EN M .....";B
1860 INPUT "CUAL ES EL VALOR DE LA PENDIENTE .....";SG
1870 MN=.014
1880 INPUT "CUAL ES EL VALOR DE L EN M .....";L
1890 INPUT "CUAL ES EL VALOR DE L EN M .....";L
1900 PRINT"-----"
1910 Q=Q/1000
1920 P3=Q^2
1930 P4=(B^2)*9.810001
1940 INPUT "CUAL ES EL VALOR DEL TIRANTE AGUAS ABAJO EN M";YC
1950 AC=YC*B
1960 VC=Q/AC
1970 C=(VC^2)/19.62
1980 T1=YC+C
1990 PC=B+(2*YC)
2000 RC=AC/PC
2010 Y2(0)=YC
2020 FOR I=1 TO 10000
2030 Y2(I)=Y2(I-1)+.01
2040 A=Y2(I)*B
2050 V=Q/A
2060 P=B+(2*Y2(I))
2070 R=A/P
2080 T2=Y2(I)+((V^2)/19.62)

```

```

2090 VM=(V*VC)/Z
2100 RM=(RC+R)/2
2110 HF=((MN*VM)/(RM^.667))^2*L
2120 T3=T2-HF
2130 X=T3-T1
2140 IF ABS (X) <=.01 THEN 2170
2150 NEXT I
2160 CLS
2170 PRINT" TIRANTE AGUAS ABAJO EN EL CANAL EN M. ....":YC
2180 PRINT" AREA AGUAS ABAJO EN EL CANAL EN M. ....":AC
2190 PRINT" VELOCIDAD CRITICA EN EL CANAL EN M/S. ....":VC
2200 PRINT" TIRANTE AGUAS ARRIBA EN EL CANAL EN M. ....":Y2(I)
2210 PRINT" VELOCIDAD MEDIA EN EL CANAL EN M/S. ....":VM
2220 PRINT" VALOR DEL RADIO HIDRAULICO MEDIO. ....":RM
2230 PRINT" RADIO HIDRAULICO DE LA SECCION AGUAS ABAJO. ....":RC
2240 PRINT" RADIO HIDRAULICO SECCION AGUAS ARRIBA. ....":R
2250 PRINT" PERIMETRO MOJADO SECCION AGUAS ABAJO. ....":PC
2260 PRINT" PERDIDA DE CARGA EN EL CANAL. ....":HF
2270 PRINT" SI DESEA CONTINUAR CON LA QUINTA PARTE OPRIMA LA TECLA CORRESPONDIENTE"
2280 INPUT" SI = 0 , NO = 1":ZZ
2290 IF ZZ=1 GOTO 1760
2300 GOTO 2840
2310 PRINT" *** CUARTA PARTE: EXTRACCION DE LODOS POR TUBERIA ***"
2320 INPUT" DAME EL DIAMETRO EN EL PRIMER TRAMO EN M ":D1
2330 REM**COEFICIENTE DE RUGOSIDAD PARA TUBOS DE ACERO (RU)**
2340 RU=.013
2350 INPUT" DAME LA PENDIENTE PROPUESTA":SP
2360 INPUT" DAME EL ESPESOR DE LA LOSA SOBRE EL TUBO EN M":EC
2370 INPUT" DAME LA CARGA DE AGUA EN EL TANQUE EN M":HA3
2380 INPUT" DAME LA ALTURA DESDE EL TUBO HASTA EL EJE DE SALIDA EN M":HD3
2390 INPUT" ESCOGE LA VELOCIDAD EN EL TUBO A PRESION EN M/S ENTRE 2 Y 7":VT3
2400 INPUT" DAME EL DIAMETRO DEL TUBO DE ACERO EN M":DO
2410 INPUT" DAME LA LONGITUD DEL TUBO DE ACERO EN M":LA3
2420 INPUT" DAME EL COEFICIENTE DE FRICCION (DIAGRAMA UNIVERSAL MOODY)":FR3
2430 KE=.5
2440 KC=.21
2450 REM**COEFICIENTE DE RUGOSIDAD PARA TUBOS DE ACERO EN MM (CR3)**
2460 CR3=.2
2470 MU=MU*.0001
2480 INPUT" DAME EL DIAMETRO DEL SEGUNDO TRAMO EN M":D2
2490 AH1=.785*D1^2
2500 RH1=D1/4
2510 VT1=RH1^.66666*SP^.5/RU
2520 IF VT1>.8 THEN GOTO 2550
2530 INPUT" DAME OTRA PENDIENTE":SP
2540 GOTO 2510
2550 QC=VT1*AH1
2560 HT1=HA3+EC+HD3
2570 HV3=VT3^2/19.62
2580 HF3=FR3*LA3*VT3^2/DO/19.62
2590 HE3=KE*VT3^2/19.62
2600 HC3=KC*VT3^2/19.62
2610 RR=CR3/(DO*1000)
2620 CW3=DO/MU

```

```

2630 NR3=VT3*CH3
2640 HT2= HV3*HF3+HE3+HC3
2650 AT3=.785*DO^2
2660 QT3=AT3*VT3
2670 NT3=QD/2/QT3
2680 ES3=LT/NT3
2690 AH2=.785*D2^2
2700 RH2=D2/4
2710 VT2=RH2^.66666*SP^.5/RU
2720 CLS
2730 PRINT"CAUDAL DE DISENO POR UNIDAD (QD)=";QD;"M3/S"
2740 QC2=AH2*VT2
2750 PRINT"GASTO CONDUCTIDO PRIMERA PARTE >QD=";QC;"M3/S"
2760 PRINT"GASTO CONDUCTIDO SEGUNDA PARTE>QD=";QC2;"M3/S"
2770 PRINT"CARGA TOTAL PRIMER TRAMO=";HT1;"M"
2780 PRINT"CARTA TOTAL SEGUNDO TRAMO=";HT2;"M"
2790 PRINT"# DE TUBOS=";NT3
2800 PRINT"ESPACIAMIENTO ENTRE TUBOS =" ;ES3;"M"
2810 PRINT"SI DESEA CONTINUAR CON LA QUINTA PARTE OPRIMA LA TECLA CORRESPONDIENT
E"
2820 INPUT" SI = 0 , NO = 1 ";ZZ
2830 IF ZZ=1 GOTO 1760
2840 CLS
2850 PRINT"*** QUINTA PARTE : EXTRACCION DE AGUAS CLARAS POR CANAL ***"
2860 INPUT"DAME LA SEPARACION MAXIMA ENTRE CANALETAS EN M ";SC1
2870 INPUT"DAME LA LONGITUD TOTAL DEL SEDIMENTADOR EN M";LT
2880 INPUT"DAME EL NUMERO DE SECCIONES POR MODULO";NP1
2890 INPUT"DAME EL GASTO POR MODULO EN M3/S";QD
2900 INPUT"DAME LA LONGITUD DE LA CANALETA EN M";LC5
2910 INPUT"ESCOJA EL ANCHO DE LA CANALETA EN M ENTRE .25 Y .6";BC5
2920 INPUT"DAME EL BORDO LIBRE EN M ";BL
2930 NC5=LT/SC1
2940 XN=INT(NC5)
2950 YN=XN+.5
2960 IF NC5<=YN THEN NC5=XN
2970 NC5=XN+1
2980 QS5=QD/NP1
2990 QC5=QS5/NC5
3000 LR5=NC5*NP1*LC5
3010 HH5=QS5*1000/LR5
3020 PRINT"CARGA HIDRAULICA SOBRE CANALETAS >1.3 Y <3.2=";HHS
3030 HOS=(QC5/1.38/BC5)^(2/3)
3040 HC5=(QC5^2/9.810001/BC5^2)^(1/3)
3050 PC5=HOS+BL
3060 TV=(QC5/1.84/LC5)^(2/3)
3070 CLS
3080 PRINT"GASTO UNITARIO POR CANALETA=";OC5;"M3/S"
3090 PRINT"NUMERO DE CANALETAS=";NC5
3100 PRINT"LONGITUD TOTAL DE RECOLECCION=";LR5;"M"
3110 PRINT"MAXIMA ALTURA DE AGUA EN LA CANALETA=";HOS;"M"
3120 PRINT"ALTURA DE AGUA CRITICA SOBRE EL FONDO=";HC5;"M"
3130 PRINT"PROFUNDIDAD DE CANALETA=";PC5;"M"
3140 PRINT"TIRANTE SOBRE VERTEDOR RECTANGULAR SIN CONTRACCION=";TV;"M"
3150 END
3160 CLS

```

```

3170 PRINT"*** TERCERA PARTE :DISTRIBUCION POR CANAL Y ORIFICIOS*** "
3180 INPUT "DAME EL CAUDAL A DISTRIBUIR EN M3/S":Q
3190 INPUT "DAME EL NUMERO DE ORIFICIOS POR LADO":NO
3200 INPUT "DAME EL DIAMETRO DEL ORIFICIO EN M":DO
3210 INPUT "DAME LA ALTURA DEL CANAL EN M":BO
3220 INPUT "DAME EL ANCHO DE LA BASE INICIAL EN M":AI
3230 INPUT "DAME EL ANCHO DE LA BASE FINAL EN M":AF
3240 QO=Q/NP1/NO
3250 V1= QO/.785/(DO^2)
3260 IF V1>=.1 AND V1<=.2 GOTO 3290
3270 PRINT"ERROR:VELOCIDAD FUERA DE RANGO ENTRE .1 Y .2 M/S"
3280 GOTO 3200
3290 SI=BO*AI
3300 SF=BO*AF
3310 DD=(SI-SF)/NO
3320 AA=AF
3330 PRINT"AA=";AA
3340 QN=Q/NO
3350 FOR I=1 TO NO
3360 D3(I)=AA+DD
3370 AA=D3(I)
3380 A3(I)=D3(I)*BO
3390 QO(I)=AO+QN
3400 AO=QO(I)
3410 V3(I)=QO(I)/A3(I)
3420 RO(I)=(V3(I)/V1)^2
3430 AF(I)=FI*RO(I)+TT
3440 B3(I)=AF(I)+1
3450 I3(I)=(1/B3(I))^.5
3460 I3=I3(I)+I3
3470 CLS
3480 PRINT"GASTO EN EL ORIFICIO (";I;")=";QO(I);"M3/S"
3490 PRINT"AREA (";I;")=";A3(I);"M2"
3500 PRINT"VELOCIDAD SECCION <.15CM/S (";I;")=";V3(I);"M/S"
3510 PRINT"RELACION DE VELOCIDADES (";I;")=";RO(I)
3520 PRINT"CONSTANTE ALFA (";I;")=";AF(I)
3530 PRINT"CONSTANTE BETA (";I;")=";B3(I)
3540 PRINT"INVERSO DE BETA (";I;")=";I3(I)
3550 NEXT I
3560 PRINT"SUMATORIA =" ;I3
3570 FOR I=1 TO NO
3580 VR(I)=Q/2/.785/(DO^2)*I3(I)/I3
3590 PRINT"VELOCIDAD EN EL ORIFICIO >.1 Y <.2 CM/S(";I;")=";VR(I);"M/S"
3600 HF(I)=B3(I)*VR(I)^2/19.62
3610 PRINT"PERDIDA DE CARGA EN EL ORIFICIO (";I;")=";HF(I)
3620 G(I)=(RO*VR(I)*HF(I)/PE2)^.5
3630 PRINT"GRADIENTE DE VELOCIDAD EN EL ORIFICIO (";I;")=";G(I);"S-1"
3640 NEXT I
3650 DE=(V3(NO)-V1)/V1
3660 PRINT"DESVIACION DE VELOCIDADES <10%=";DE
3670 PRINT"DESEA CONTINUAR CON LA CUARTA PARTE"
3680 INPUT " OPRIMA SI = 1 , NO = 0 ";Y
3690 IF Y = 0 THEN GOTO 1130
3700 GOTO 1760

```