

T
6218
BAE.



Escuela Superior Politécnica del Litoral
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

**”Diseño de un Sistema de Floculación
de Paletas Giratorias para una Planta
de Potabilización de Agua“**

TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de:
INGENIERO MECANICO

Presentada por:

Marcel Alberto Baque Macías

Guayaquil - Ecuador

Año - 2001



AGRADECIMIENTO

A todas las personas
que de uno u otro modo
colaboraron en la
realización de este
trabajo y especialmente
al Ing. Manuel Helguero,
Director de Tesis, por su
invaluable ayuda.

DEDICATORIA

A JEHOVÁ DIOS

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MIS PROFESORES

TRIBUNAL DE GRADUACION



Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO FIMCP



Ing. Manuel Helguero G.
DIRECTOR DE TESIS

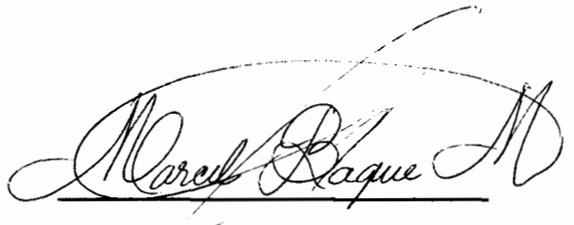


Ing. Edmundo Villacís M.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Marcel A. Baque Macías



RESUMEN

El presente trabajo describe el Diseño de un Sistema de Floculación de Paletas Giratorias Horizontales para la Planta de Potabilización La Toma. El proceso de floculación Es considerado el punto crítico durante el proceso general de Potabilización, ya que de éste depende el buen desempeño de los procesos siguientes.

En el proceso se realiza una mezcla lenta del agua con el coagulante, el resultado de esto Es la formación de partículas denominadas "flocs", las que por gravedad caen al fondo del tanque. Si esta mezcla lenta no ocurre dentro del rango de velocidades apropiados puede provocarse el rompimiento de los flóculos, lo que significa que las partículas disueltas seguirán en suspensión, el agua que se obtenga sería de baja calidad.

El diseño considera parámetros previamente calculados en laboratorio, como el gradiente de velocidad, el que nos servirá posteriormente para establecer los rangos óptimos de funcionamiento del equipo.



INDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
INDICE GENERAL.....	II
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGIA.....	VII
INDICE DE FIGURAS.....	IX
INDICE DE TABLAS.....	XII
INDICE DE PLANOS.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1	
1. ANÁLISIS DEL PROBLEMA Y ALTERNATIVAS.....	2
1.1 Descripción del Proceso General de Potabilización.....	3
1.2 Fundamento Teórico del Proceso de Potabilización.....	10

1.3 Identificación del Problema específico 24

1.4 Descripción de métodos alternativos 29

CAPITULO 2

2. DISEÑO DE FORMA 34

2.1 Parámetros de Diseño para el Sistema de Floculación

de Paletas Rotatorias..... 34

2.2 Descripción general del Equipo 46

CAPITULO 3

3. DISEÑO DEL EQUIPO 50

3.1 Cálculo de potencia disipada por las paletas

de floculación 57

3.2 Selección del sistema de transmisión de potencia..... 72

3.3 Diseño de la cámara de floculación 80

3.4 Selección de materiales 83

3.5 Protección contra la corrosión.....	98
--	-----------

CAPITULO 4

4. SELECCIÓN DE EQUIPOS AUXILIAR.....	102
--	------------

4.1 Selección del Sistema de Mezclado Rápido.....	102
--	------------

4.2 Selección de materiales para Tabiques.....	114
---	------------

CAPITULO 5

ANÁLISIS DE COSTOS.....	119
--------------------------------	------------

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	126
--	------------

APENDICES.....	128
-----------------------	------------

BIBLIOGRAFÍA.....	129
--------------------------	------------

ABREVIATURAS

°C	Grados Centígrados
m	Metro
cm	Centímetro
mm	Milímetro
Min.	Minuto
seg.	Segundo
mg.	Miligramo
l	Litro
V_0	Velocidad inicial
V_s	Velocidad de sedimentación
UNT	Unidades Nefalométricas Técnicas
pH	Indice de alcalinidad del agua
Z	Potencial eléctrico
L	Longitud
W	Ancho
A	Area
V	Volumen
D	Diámetro
F_r	Fuerza de Arrastre



C_d	Coeficiente de Arrastre
P_T	Potencia Total
p	Presión
g	Aceleración de la gravedad (9.8 m/s^2)
G	Gradiente de Velocidad
t_d	Tiempo de detención
M	Momento
Q	Caudal
T	Torsión
V_p	Velocidad Periférica
V_r	Velocidad relativa
HP	Caballos de Fuerza
Kw	Kilowattios
N	Newton
Kg	Kilogramos masa
lb	Libras fuerza
RPM	Revoluciones por minuto
rps	Revoluciones por segundo

Simbología

ρ	Densidad del líquido
R	Radio
μ	Viscosidad del líquido
π	Pi (3.141516)
α	Razón de adherencia
N_t	Turbiedad remanente
N_o	Turbiedad de agua cruda
n	Velocidad angular
K	Constante
w	Peso por unidad de longitud
σ	Esfuerzos de VonMisses
σ_x	Esfuerzos de flexión
τ	Esfuerzo de torsión
Z	Modulo de Sección
J	Momento polar de inercia
S_y	Esfuerzo de fluencia
N_R	Número de Reynolds
S_{sy}	Esfuerzo máximo de fluencia
N_R	Número de Reynolds
K_T	Constante adimensional para las paletas

INDICE DE FIGURAS

		<u>Pág.</u>
Fig. 1	Esquema General del Proceso de Potabilización.....	5
Fig. 2	Proceso de Potabilización del agua.....	6
Fig. 3	Coagulación por puente químico con la adición de polímeros.....	13
Fig. 4	Aglomeración de partículas de floc durante el barrido.	13
Fig. 5	Cargas de atracción y repulsión cerca de la superficie coloidal.....	15
Fig. 6	Reducción del pico de energía a cero	15
Fig. 7	Interacción entre partículas en floculación pericinética	18
Fig. 8	Idealización de la turbulencia creada en la parte posterior de un cilindro introducido en un líquido.....	19
Fig. 9	Modos de acción de lo polielectrolitos.....	22
Fig. 10	Floculador Mecánico Giratorio de eje vertical.....	27
Fig. 11	Floculador Mecánico Giratorio de eje horizontal.....	28
Fig. 12	Floculadore Reciprocante.....	28
Fig. 13	Floculador hidráulico de tabiques.....	31
Fig. 14	Floculador hidráulico tipo Alabama.....	31
Fig. 15	Floculador hidráulico tipo Cox.....	31
Fig. 16	Floculador hidromecánico.....	33

Fig. 17	Porcentaje de agua y volumen de floc para diferentes gradientes.....	38
Fig. 18	Eficiencia del período de retención en la eficiencia de la floculación.....	43
Fig. 19	Eficiencia del periodo de retención en la eficiencia teórica.....	44
Fig. 20	Floculador horizontal de paletas.....	46
Fig. 21	Dimensionamiento de las paletas.....	60
Fig. 22	Configuración de las paletas de los floculadores.....	65
Fig. 23	Distancia entre centros de piñones.....	79
Fig. 24	Diagrama de fuerzas para el eje principal.....	86
Fig. 25	Diagrama de fuerzas para brazos.....	94
Fig. 26	Diagrama de fuerzas para tablones.....	97
Fig. 27	Canaleta Parshall.....	104
Fig. 28	Vertedero.....	104
Fig. 29	Dispersores.....	106
Fig. 30	Retromezcladores.....	106
Fig. 31	Diagrama del retromezclador.....	109
Fig. 32	Diseño del mezclador rápido.....	113
Fig. 33	Tabiques de madera con ductos para el paso del agua entre las piletas de floculación.....	116

Fig. 34	Orificios de concreto entre la última cámara de floculación y el sedimentador.....	118
---------	---	-----

INDICE DE TABLAS

	<u>Pág.</u>
Tabla 1.1 Clasificación de los coagulantes.....	20
Tabla 1.2 Algunos tipos de coagulantes.....	21
Tabla 1.3 Clasificación de los floculadores.....	29
Tabla 3.1 Variación del coeficiente de arrastre para placa plana de ancho finito normal al flujo.....	54
Tabla 3.2 Factor de eficiencia de los floculadores mecánicos de paletas.....	54
Tabla 3.3 Clasificación del servicio del motor.....	74
Tabla 4.1 Valores de K para diferentes anchos de tabiques deflectores.....	108
Tabla 5.1 Costo de materiales utilizados para la construcción de los floculadores.....	121
Tabla 5.2 Costo de equipos y máquinas utilizados para la construcción de los floculadores.....	122
Tabla 5.3 Costo de mano de obra empleada en la construcción de los floculadores.....	123
Tabla 5.4 Costos totales por la construcción de los floculadores.....	124

Tabla 5.5	Costos por la construcción de floculadores para la	
	Planta La Toma.....	125

INDICE DE PLANOS

Dibujo 1	Tablón Exterior
Dibujo 2	Tablón intermedio
Dibujo 3	Tablón Interior
Dibujo 4	Tramo de Árbol Principal
Dibujo 5	Tramo de Árbol Principal
Dibujo 6	Tramo de Árbol Principal
Dibujo 7	Apoyo de Brazos
Dibujo 8	Brazos de Paletas
Dibujo 9	Conjunto de Floculador
Dibujo 10	Cámaras de Floculación
Dibujo 11	Esquema de la Planta Convencional

INTRODUCCION

El presente trabajo, describe los procedimientos de diseño para un Sistema de Floculación de Paletas Giratorias para la Planta de Potabilización "La Toma", de la ciudad de Guayaquil. Actualmente, la empresa encargada de suministrar este recurso a la ciudad se encuentra en un proceso de renovación a largo plazo, lo que conlleva a la implementación de mejoras tanto en el proceso de producción como en el de servicio.

La Planta "La Toma" produce un aproximado de 1 millón de m^3 /día de agua, las cuales son distribuidas a las zonas residenciales tanto urbanas como rurales y la zona industrial de la ciudad de Guayaquil, así como las poblaciones aledañas. "La Toma" cuenta con tres plantas potabilizadoras, La convencional, La Lurgi y La Planta Nueva, las mismas que producen alrededor de 300.000 m^3 /día, 50.000 m^3 /día y 650.000 m^3 /día respectivamente. Los procesos utilizados para el efecto son los mismos, lo que varía de una a otra son los métodos empleados.

Este proyecto se centra en el diseño de un nuevo sistema de Floculación de la Planta Convencional, y al mismo tiempo corregir ciertos inconvenientes que se presentaron con el sistema anterior, el cual se encuentra actualmente fuera de servicio.

Capítulo 1

1. ANALISIS DEL PROBLEMA Y ALTERNATIVAS

No es lo mismo proyectar plantas de tratamiento para países de población estática o de muy lento crecimiento, como los países industrializados, que para países con rápido incremento demográfico que, a veces duplican el número de habitantes urbanos de una década a otra y que, por eso, se ven precisados a construir cada cierto tiempo nuevos sistemas de abastecimiento o ampliar los existentes. El esfuerzo económico que esto implica fuerza a estos últimos a buscar tecnologías de bajo costo y fácil operabilidad que no son prioritarias para países ricos, los cuales, no solo cuentan con amplios recursos financieros, sino que, los tienen que invertir en plantas de purificación con menor frecuencia. Por otra parte, la contaminación industrial de sus fuentes los obliga a ir mas allá de la simple remoción de partículas (minerales o

biológicas) por cuanto su mayor preocupación radica en la presencia de compuestos orgánicos en el agua.

Tenemos que reconocer que todavía estamos ligados a fenómenos naturales conocidos desde épocas remotas, como la decantación de partículas de mayor densidad que el agua, y la precolación de ellas a través de lechos porosos granulares, semejantes a las que se efectúan en suelos arenosos. Todo lo que hemos agregado, en realidad, a estos procesos es la coagulación química o aglutinación de partículas coloidales no sedimentables con la ayuda de coagulantes.

Alrededor de estas tres ideas fundamentales (coagulación, sedimentación y filtración), se ha construido toda una tecnología de la remoción de partículas.

1.1. Descripción General del Proceso de Potabilización

El Agua es el recurso natural más importante, ya que sin ella no podría existir la vida, y la industria no funcionaría. A diferencia de muchas otras materias primas, el agua no tiene sustituto en muchas aplicaciones.

A pesar de la definición química del agua como una sustancia constituida exclusivamente por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, en la naturaleza no se encuentra nunca en ese grado de pureza sino que contiene una serie de componentes orgánicos e inorgánicos.

Muchas personas creen que el agua de un río o una quebrada por ser transparente, esta libre de impurezas. Realmente no es así. El agua , antes de darla al consumo humano, hay que someterla a un proceso de tratamiento para obtener agua potable.

En la actualidad existen muchos métodos para potabilizar el agua, pero la premisa fundamental para adoptar un método en particular es el que asegure en todo momento agua en calidad y cantidad suficiente, aún durante los períodos con fuertes variaciones en la calidad de agua cruda.

La POTABILIZACION comprende una serie de procesos que son:
Captación, Coagulación - Floculación, Sedimentación, Filtración

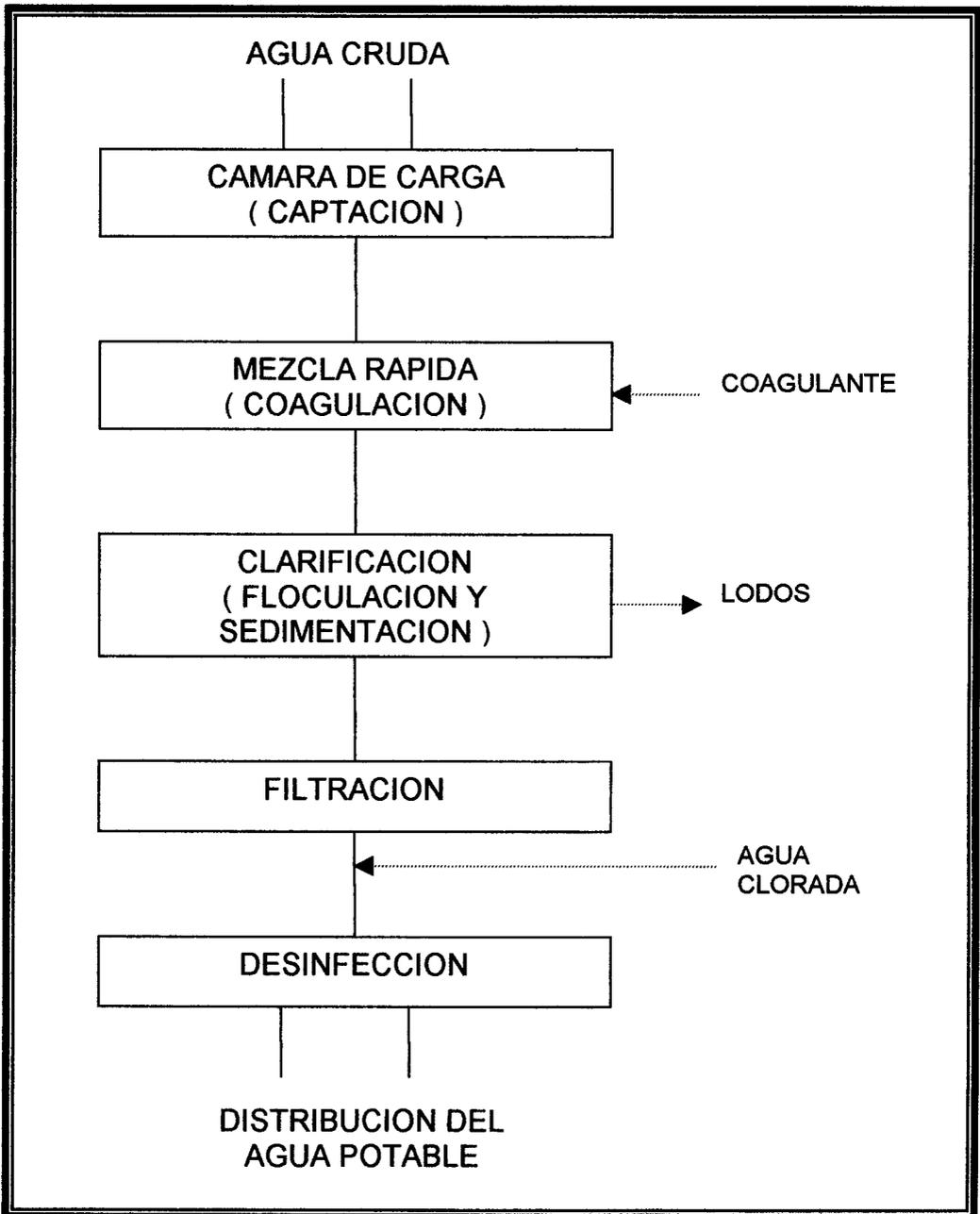
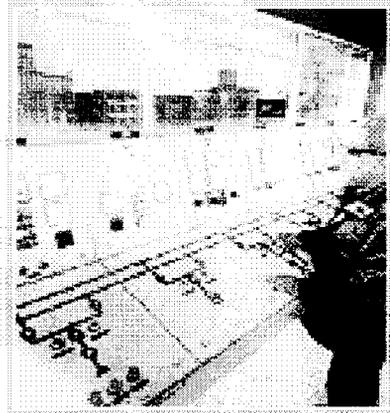


Fig.1.- Esquema General una Planta de Potabilización



CAPTACION



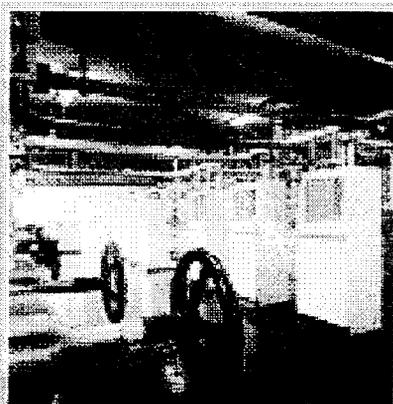
FLOCULACION



SEDIMENTACION



FILTRACION



DESINFECCION



DISTRIBUCION

Fig. 2.- Proceso de Potabilización del agua



Captación

Es el proceso mediante el cual se toma agua cruda de alguna fuente natural, y se la transporta hasta la planta de tratamiento.

El sitio donde se realiza la captación debe ser cuidadosamente seleccionado, previo un estudio hidrológico de la zona que asegure una producción continua aun en épocas de sequía, a fin de dimensionar adecuadamente la obra de captación.

Coagulación - Flocculación

- a. Se llama coagulación – flocculación al proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua llamado “floc”.

Hay que distinguir dos aspectos fundamentales en este proceso:

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

Al primer aspecto se denomina COAGULACION, y al segundo FLOCULACION.

La COAGULACION empieza el mismo instante en que se agregan los coagulantes al agua y dura solamente fracciones de segundo. Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, las superficies de las partículas, y el agua misma.

La FLOCULACION es el fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para formar coágulos de mayor tamaño.

Sedimentación

Se entiende por sedimentación a la remoción, por efecto gravitacional de las partículas en suspensión que tengan peso específico mayor que la del fluido.

En un determinado intervalo de tiempo no todas las partículas en suspensión sedimentan. Las que sedimentan en un intervalo de tiempo determinado son llamadas "sólidos sedimentables".

La sedimentación como tal, es en esencia un fenómeno netamente físico. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado.

La sedimentación puede realizarse en tres formas:

- a. En tanques de flujo horizontal, que son los convencionales.
- b. En tanques de flujo vertical con o sin manto de lodo.
- c. En tanques de flujo vertical con alta rata.

Filtración

El objetivo básico de la filtración es separar las partículas y los microorganismos que no han quedado retenidos en los procesos de coagulación y sedimentación. En consecuencia el trabajo que los filtros desempeñan depende directamente de la mayor o menor eficiencia de los procesos anteriores.

El agua que entra a un filtro contiene una variedad muy grande de partículas en suspensión. Dentro de esta gama se puede encontrar partículas electropositivas, electronegativas y neutras o microfloculos con polímeros absorbidos. Todo este conjunto queda en mayor o

menor proporción retenido en el lecho filtrante, adherido a la superficie de sus granos, formando una película alrededor de ellos, cuya resistencia al esfuerzo cortante producido por la fuerza de arrastre del flujo, es función de la magnitud de las fuerzas que mantienen pegadas a las partículas a cada elemento del medio granular. Si estas fuerzas son débiles el floc es arrastrado por el flujo y penetra cada vez mas hondo, hasta que eventualmente aparece en el efluente. Si son en cambio fuertes, el floc quedará retenido obstaculizando el paso de agua y aumentando por consiguiente la pérdida de carga.

1.2. Fundamento Teórico Del Proceso de Potabilización

El agua natural por lo general tiene composiciones altamente complejas. Para su uso o disposición es necesario modificar esta composición, y para ello se requiere de una variedad de procesos de tratamiento, que tienen por objeto separar los diversos contaminantes.

Físicamente, y para los objetivos de separación, los contaminantes se clasifican como:

1. *Sólidos en suspensión o flotantes.* Hojas, ramas, etc.

2. *Sólidos suspendidos pequeños y coloidales*. Partículas de arcilla y limo, microorganismos.
3. *Sólidos disueltos*. Alcalinidad, dureza, ácidos orgánicos.
4. *Gases disueltos*. Oxígeno
5. *Líquidos no miscibles*. Grasas y aceites

Para remover estos contaminantes, existen tres clases principales de métodos de tratamiento:

- A. *Procesos Físicos*: que dependen esencialmente de las propiedades físicas de la impureza, como tamaño de partícula, peso específico, viscosidad, etc. Ejemplos comunes de este tipo de procesos de tratamiento son: Cribado, Sedimentación, Filtrado, etc. A estos tratamientos se le denomina generalmente como **tratamientos Primarios**.
- B. *Procesos Biológicos*: que utilizan reacciones bioquímicas para remover impurezas solubles o coloidales, normalmente sustancias orgánicas. Estos procesos son conocidos generalmente como **tratamientos Secundarios**.
- C. *Procesos Químicos*: que dependen de las propiedades químicas de la impureza, o que utilizan las propiedades químicas de los reactivos agregados. Algunos de estos tratamientos son:

Coagulación, Precipitación, Intercambio iónico, etc. Estos tratamientos son conocidos generalmente como tratamientos Terciarios cuando siguen a algún proceso de tipo biológico, y como tratamientos Primarios, cuando son colocados después de alguna separación física solamente.

En algunos casos, un solo proceso de tratamiento puede dar el cambio deseado en la composición del agua tratada, pero en la mayoría de los casos, es necesario utilizar una combinación de varios procesos. Finalmente, la adición de un desinfectante sirve para matar los microorganismos dañinos que hayan sobrevivido a los niveles de tratamiento precedentes.

Teoría de la Coagulación

La coagulación del latín *coagulare* que significa solidificar lo líquido, es por definición, el fenómeno de desestabilización de las partículas coloidales, que se puede conseguir por medio de la neutralización de sus cargas eléctricas negativas. Este proceso es producto de la adición de un reactivo químico llamado *coagulante*.

Tres mecanismos pueden actuar en el fenómeno de coagulación: el de *adsorción - desestabilización*, basado en las fuerzas electrostáticas de atracción y repulsión, el del *punte químico*, que establece una relación de dependencia entre las fuerzas químicas y la superficie de los coloides, y el de *sobresaturación* de la concentración de coagulante en el agua.

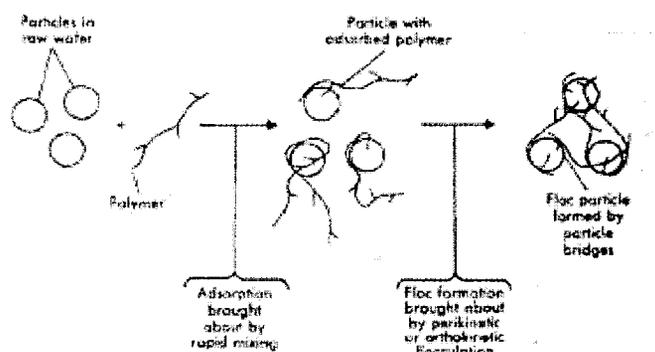


Fig.3.- Coagulación por puente químico con la adición de polímeros (Tchobanoglous y Schroeder, 1985)

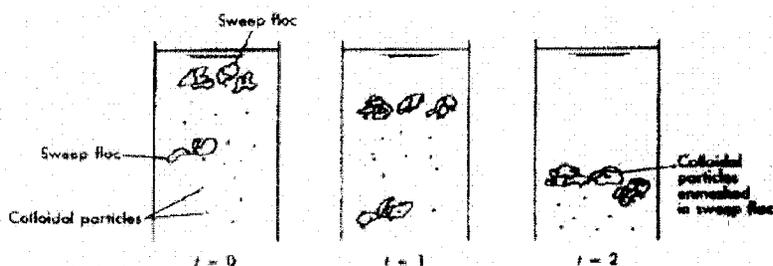


Fig.4.- Aglomeración de partículas de floc durante el barrido (Tchobanoglous y Schroeder, 1985)

Caracterización de los Coloides

Los Coloides son partículas con tamaño entre 0.1 nm (10^{-10} cm) a 1 nm (10^{-9} cm) que no son removidos por sedimentación ni tratamientos físicos convencionales.

Las partículas coloidales que pueden encontrarse en el agua tienen ambas cargas en su superficie, positiva y negativa. La carga predominante es la negativa. Debido a su pequeño tamaño, las fuerzas de atracción de van der Waal entre las partículas son considerablemente menores que las fuerzas de repulsión de las cargas eléctricas. Por consiguiente, las partículas se repelen unas a otras y la suspensión coloidal es *estable*.

Los contra-iones (generalmente cationes) predominan cerca de la superficie de las partículas y disminuyen gradualmente en número al aumentar la distancia. Esta carga se denomina "*El Potencial ZETA*". La estabilidad de la suspensión coloidal disminuye a medida que el Potencial ZETA disminuye también.

El objetivo de la coagulación es reducir esta energía a cero, para neutralizar esta fuerza de repulsión entre las partículas.

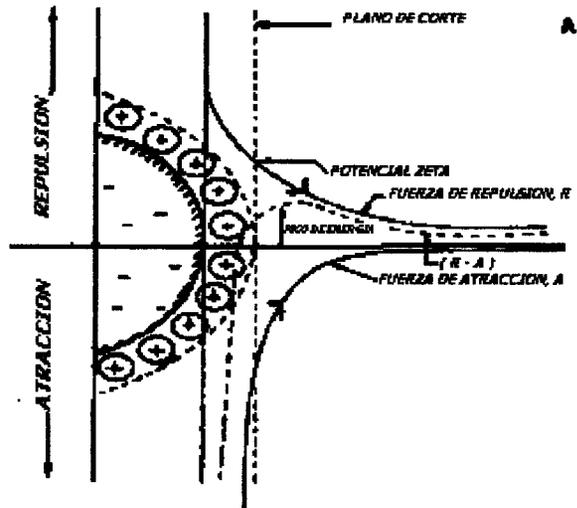


Fig.5.- Cargas de atracción y repulsión cerca de la superficie coloidal

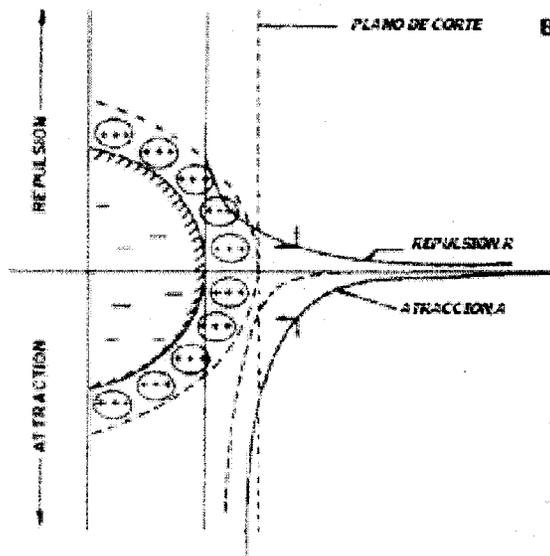


Fig.6.- Reducción del pico de energía a cero

Condiciones de Operación que influyen en la Coagulación

Para un tratamiento óptimo de coagulación, las condiciones que se deben tomar en cuenta son:

1. El tipo de coagulante,
2. El pH,
3. La turbiedad,
4. La composición química del agua, y
5. Los factores físicos (la temperatura y condiciones de mezclado).

Tipo de coagulante

La elección del coagulante se efectúa por medio de ensayos en el laboratorio (JAR TEST). Para ello deben tomarse en cuenta diversos factores:

- a. Naturaleza y calidad del agua bruta,
- b. Variación de la calidad del agua bruta (variaciones diarias o según las estaciones, en especial, influencia de la temperatura).
- c. Criterios de calidad y destino del agua tratada.
- d. Tratamiento previsto después de la coagulación (coagulación sobre filtro, decantación, etc.)
- e. Grado de pureza del reactivo, especialmente en el caso de agua para abastecimiento público.

Los coagulantes de más uso en el tratamiento de aguas son:

- a. Los derivados de aluminio: sulfato de aluminio, alumbre de amonio, aluminato de sodio, polímeros de aluminio o PACs.
- b. Los derivados de hierro: sulfato férrico, sulfato ferroso y cloruro férrico.
- c. La cal.

Destaca el *sulfato de aluminio* como el coagulante de mayor aplicación, particularmente en potabilización, seguido por el *cloruro férrico*, y *la cal*, generalmente usada como ayuda de coagulante, para la remoción de fosfatos, y como acondicionador de lodos.

Teoría De La Floculación

Después de la desestabilización, las partículas deberán juntarse para que el crecimiento de las mismas ocurra. Por consiguiente, el proceso de floculación resulta en el crecimiento de partículas mas grandes debido a la colisión de partículas provocado por una mezcla mecánica.

La rapidez con lo que esto ocurre va a depender del tamaño de las partículas en relación con el estado de agitación del líquido, de la concentración de las mismas y de su "*grado de desestabilización*",

que es el que permite que las colisiones sean efectivas para producir adherencia.

Los contactos pueden realizarse de dos modos distintos:

- a. Contactos por bombardeo de partículas producido por el movimiento de las partículas del líquido (movimiento Browniano) que solo influye en partículas de tamaños menores del micrón.
- b. Contactos por turbulencias del líquido efectivo solo con partículas mayores del micrón.

A la primera se la conoce con el nombre de *Floculación Pericinéctica* y a la segunda, *Floculación Ortocinéctica*. Estos términos, estrictamente hablando, se aplican solo para reacciones de flujo laminar.

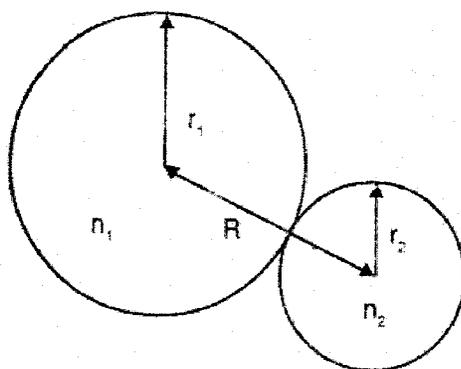


Fig.7.- Interacción entre partículas en floculación peri – Cinética

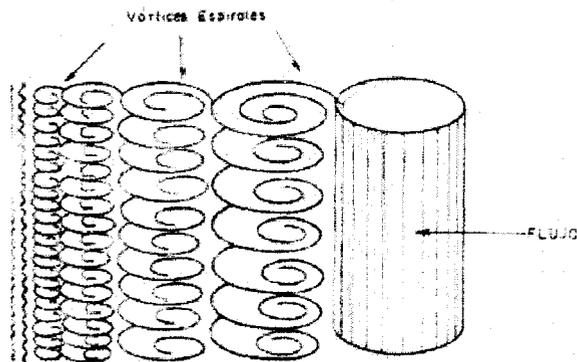


Fig.8.- Idealización de la turbulencia creada en la parte posterior de un cilindro introducido en un líquido

En la floculación Ortocinética, las partículas se están moviendo a diferentes velocidades y están mas propensas a colisionar y combinarse en una partícula de mayor tamaño.

Tipos de Coagulantes

Los coagulantes los podemos clasificar en dos grupos: Los Polielectrolitos o ayudantes de coagulación y los coagulantes metálicos.

Ambos grupos básicamente actúan como polímeros además de la carga eléctrica que poseen. En los polímeros, las cadenas poliméricas están ya formadas cuando se los agrega al agua. En los segundos, la polimerización se inicia cuando se pone el coagulante

en el agua, después de lo cual viene la etapa de adsorción por los coloides presentes en la fase acuosa.

Es, sin embargo, necesario observar que la velocidad de sedimentación de las partículas coaguladas no depende en forma exclusiva de los coagulantes usados sino del peso de las partículas que se trata de sedimentar.

Clasificación de los Polielectrolitos

Los polielectrolitos de importancia en el tratamiento de aguas pueden clasificarse así:

TABLA 1.1.- CLASIFICACION DE LOS POLIELECTROLITOS

SEGÚN SU ORIGEN	SEGÚN SU CARGA	
Polímeros Naturales	Iónicos	Catiónicos
		Aniónicos
Polímeros Sintéticos	No iónicos	

Polímeros Naturales

Son los que se producen en las reacciones bioquímicas naturales de animales y plantas, tales como proteínas, carbohidratos y polisacáridos (almidón, glucósidos).

Muchos de estos componentes tienen propiedades coagulantes o floculantes y son usados por los nativos en forma empírica para clarificar el agua. La Tabla muestra los nombres de algunas sustancias.

TABLA 1.2.- ALGUNOS TIPOS DE COAGULANTES NATURALES

NOMBRE COMUN	SE EXTRAE DE	PARTE DE DONDE SE OBTIENE
Alginato de Sodio	Algas pardas marinas	Toda la Planta
Tuna	<i>Opuntia ficus india</i>	Las hojas
Almidones	Maíz Papa Yuca Trigo	El grano o tubérculo
Semillas de nirmali	<i>Strychnos potatora</i>	Las semillas
Algarrobo	Quebracho, acacia o algarrobo	Corteza del árbol
Gelatina común	Animales	Residuos animales Huesos
Carboximetil Celulosa	Arboles	Corteza del árbol
Goma de guar	<i>Cyanopsis psoranides</i>	Semillas

Los que han dado mejor rendimiento y vale la pena considerarlos para su uso en plantas de tratamiento son: los compuestos algínicos, los derivados de tuna o nopal y los almidones.

Polímeros Sintéticos

Son compuestos orgánicos producidos por medio de la transformación química de derivados de carbón y del petróleo. Incluye la mayoría de los polímeros manufacturados por la industria y de mayor venta comercialmente. Muchos, aunque no todos, se encuentran en forma de polvo seco. Otros son líquidos con concentraciones del 10% al 60% de polímeros activos.

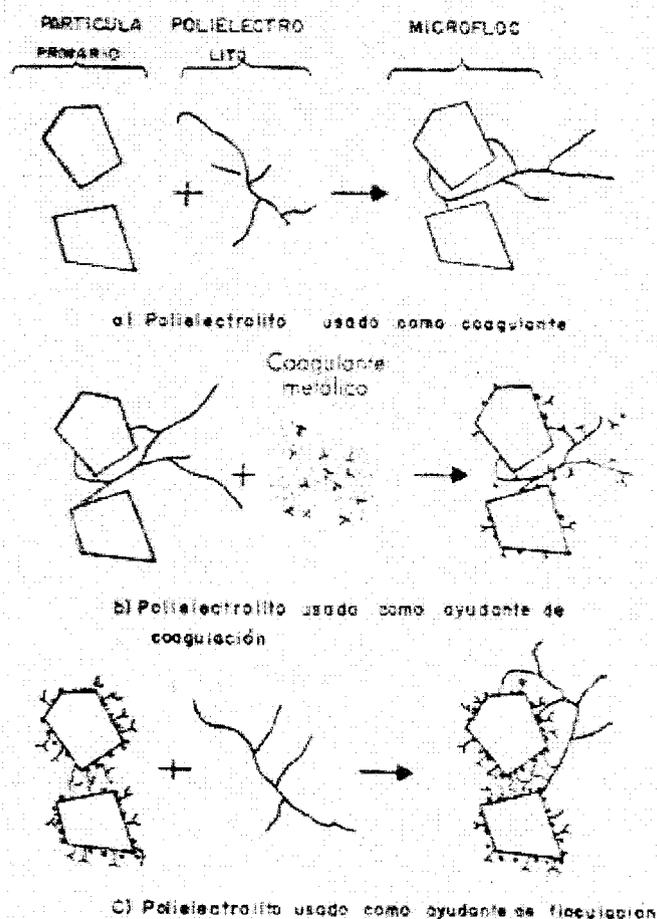


Fig.9.- Modos de acción de los polielectrolitos

Coagulantes Metálicos

Existe una variedad de coagulantes metálicos que los podemos clasificar en tres tipos: sales de aluminio, sales de hierro y compuestos varios. El primero es el coagulante que por su bajo costo y manejo relativamente sencillo se usa con mayor frecuencia en las plantas de tratamiento de agua potable.

Sales de Aluminio

Las sales de aluminio forman un floc ligeramente pesado. Las mas conocidas de estas son el sulfato de aluminio, el sulfato de aluminio amoniacal y el cloruro de polialuminio.

Sales de Hierro

Las sales de hierro tienen una ventaja sobre las sales de aluminio en algunos casos, porque forman un floc mas pesado y de mayor velocidad de asentamiento y porque pueden trabajar con un rango de pH mucho mas amplio. Por tanto, se usan cuando el sulfato de aluminio no produce una coagulación adecuada o cuando los sedimentadores están demasados recargados y resulta económico aumentar el peso del floc para incrementar la eficiencia de ellos.

1.3. Identificación del Problema Específico

La Planta de Tratamiento “La Toma” fue construída en los años de 1950-1951. La capacidad nominal de tratamiento de la “Planta Convencional” fue de 75.000 m³/día (868 lts/seg), actualmente produce 300.000 m³/día (3.472 lts/seg). Inicialmente, la planta constaba de dos predecantadores, dos decantadores, con sus respectivas cámaras de floculación, y ocho filtros rápidos de arena tipo convencional.

Posteriormente, en 1968, se convirtieron los predecantadores en decantadores agregándoles dos cámaras nuevas de floculación y se le adicionaron cuatro nuevos filtros a la batería existente con lo que quedaron 12 filtros en total.

En 1980 se realizaron una serie de modificaciones al sistema, quedando la planta en las siguientes condiciones: el agua cruda entra a una cámara general de dosificación y repartición del caudal que tiene 8 vertederos, cuatro a lado y lado, los cuales permitirán dividir el flujo entre los dos sistemas de decantación, el antiguo y el nuevo.

El problema principal que presenta la planta convencional se debe a los cambios realizados en las unidades predecantadoras. Cuando la planta fue construida, el agua antes de llegar a los clarificadores 1 y 2, se realizaba el proceso de predecantación el cual consistía en hacer pasar el agua a través de las cámaras de pre-sedimentación 3 y 4 donde se retenían impurezas y organismos sedimentables, obteniéndose turbiedades de hasta 80 UNT a la salida de los mismos. Seguidamente el agua era conducida a los clarificadores 1 y 2, donde se realizaba el proceso de floculación y sedimentación, obteniéndose un grado de purificación óptimo para que el agua ingrese a los filtros.

Una vez que se realizaron las modificaciones en 1980, convirtiendo los predecantadores 3 y 4 en clarificadores con sus respectivas cámaras de floculación, el agua que llegaba a los sistemas 1 y 2, como era de esperarse, contenía mayor cantidad de impurezas. Además el problema se agravó debido a que el agua del Río Daule, con el paso del tiempo, adquirió mayor turbiedad a causa de diferentes factores naturales, principalmente debido a la contaminación. Las turbiedades alcanzadas registraron hasta 5000 unidades Jackson en invierno, la época mas crítica del año.

Los floculadores se encuentran trabajando parcialmente, debido a que en unos casos están rotos los ejes principales, y en otros ni siquiera existen. La rotura de los ejes se debe principalmente a la acumulación de lodos en el fondo del canal, que también representa otro inconveniente a la planta, ya que el sistema de drenaje de lodos no los evacua a la misma rapidez con las que se forman.

El trabajo que pongo a consideración consiste en realizar un análisis del sistema de floculación de la planta convencional de "La Toma", dimensionar los nuevos equipos y verificar si el material utilizado es el apropiado.

Antes de continuar con el desarrollo de este proyecto, hablaremos un poco de los floculadores mecánicos y los Métodos Alternativos para realizar este proceso, utilizados mas comúnmente para el tratamiento de aguas.

Floculadores Mecánicos

Se entiende por floculadores mecánicos aquellos que requieren de una fuente de energía externa que mueva un agitador en un tanque o en una serie de tanques, en donde el agua permanece un tiempo teórico de detención t_d .



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

Los primeros suelen ser de baja velocidad de rotación (paletas) o de alta velocidad de rotación (turbinas). Pueden ser de eje horizontal o de eje vertical.

Los segundos consisten ya sea en una parrilla de madera que suben y bajan alternativamente (walking beams) o en sistemas oscilantes como cintas (ribbons flocculators) que van y vienen dentro del tanque. En ambos casos la energía comunicada al agua es directamente proporcional a la energía con la que se desplace el elemento mecánico dentro de ella.

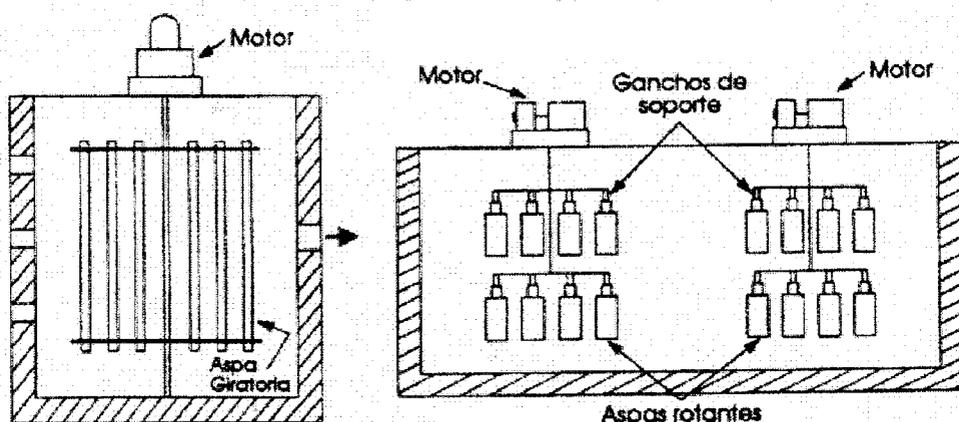


Fig.10.- Floculador Mecánico Giratorio de eje vertical

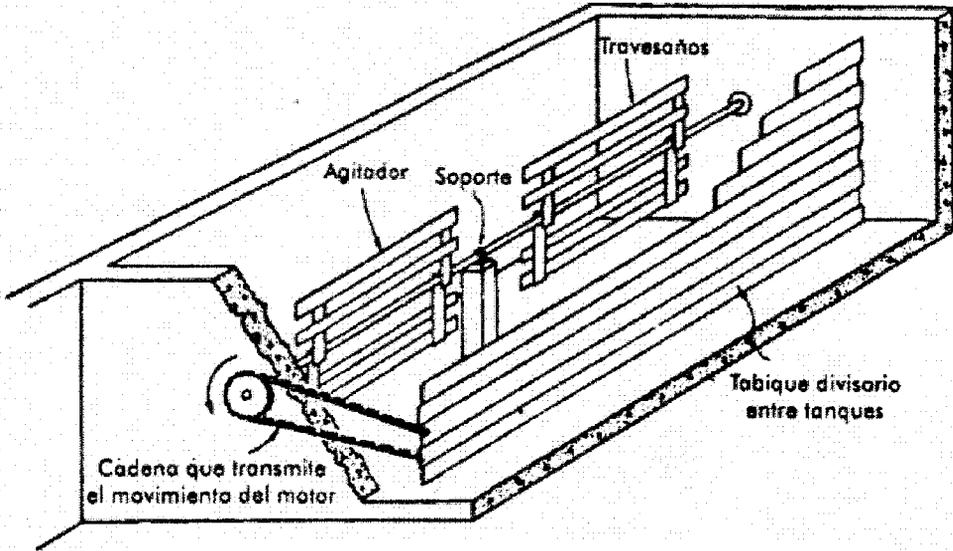


Fig.11.- Floculador Mecánico Giratorio de eje horizontal

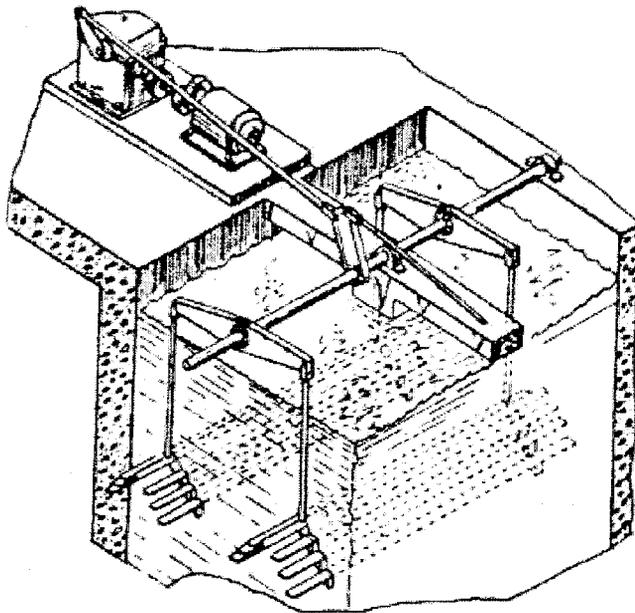


Fig.12.- Floculador Reciprocante

1.4. Descripción de Métodos Alternativos

Para realizar el proceso de floculación existen otros tipos de floculadores que pueden ser empleados, y que a continuación describiremos:

TABLA 1.3.- TIPOS DE FLOCULADORES

Según la energía de agitación	Según el sentido de flujo	Descripción	Nombre
Hidráulicos	Flujo Horizontal	Con tabiques de ida y regreso	De tabiques
	Flujo Vertical	Con tabiques arriba y debajo del tanque	
		Con codos en el fondo que proyectan el agua hacia arriba	Alabama
		Con entrada lateral al tanque	Cox
Mecánicos	Rotatorios	De paletas de eje horizontal o vertical	De paletas
		De turbinas horizontales o verticales	De turbinas
	Reciprocantes	Rejas o cintas oscilantes	Reciprocantes
Hidromecánicos	Flujo Horizontal	De turbinas Pelton y paletas horizontales	Hidromecánicos

Floculadores Hidráulicos

Floculadores de tabiques

Los floculadores hidráulicos derivan su energía de la agitación de la masa líquida, es decir, de la carga de velocidad que el flujo adquiere al fluir por un conducto.

Consisten en tanques provistos de pantallas entre los cuales el agua circula con una velocidad fija, produciendo cierta turbulencia en cada cambio de dirección de flujo.

Son de flujo horizontal y vertical. En los primeros, el flujo va y viene alrededor de los tabiques haciendo un giro de 180° al final de cada uno. En los segundos, el flujo sube y baja en condiciones similares.

Floculador Alabama

Una variante del floculador de flujo vertical es el tipo Alabama con el cual cada cámara lleva un codo que impulsa el agua hacia arriba, como indica la *Figura 14* y la vuelve a tomar en el fondo.

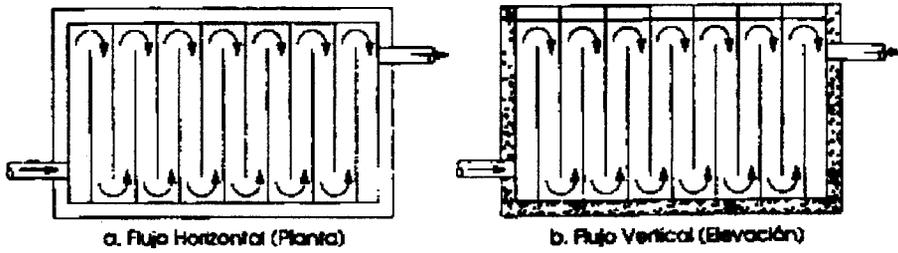


Fig.13.- Floculador hidráulico de tabiques

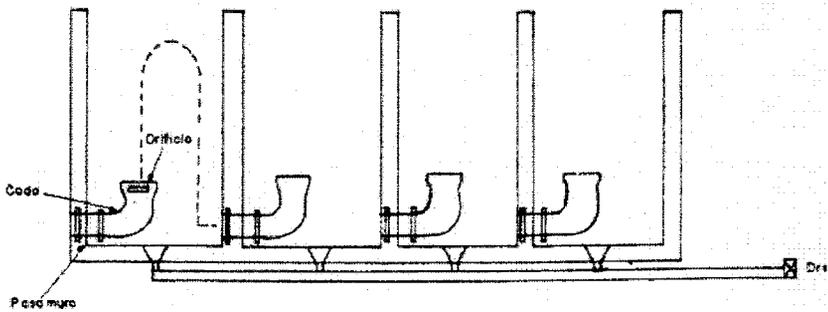


Fig.14.- Floculadores hidráulico tipo Alabama

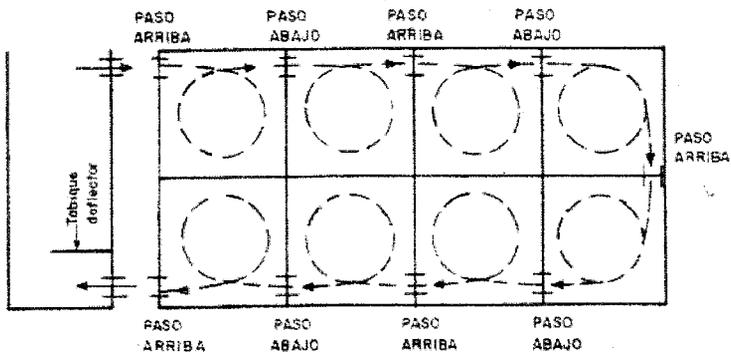


Fig.15.- Floculador hidráulico tipo Cox

Los codos se colocan en forma alternada: el anterior en el lado derecho de la cámara y el que le sigue en el lado izquierdo para evitar corto circuitos.

Floculadores de flujo helicoidal (Cox)

Los floculadores de flujo helicoidal consisten en una serie de cámaras (mas de seis y preferiblemente de ocho a doce) en las cuales el agua entra por el fondo en la esquina de la celda y sale por encima en la esquina opuesta, de forma que se induce un movimiento rotacional del agua que crea un vórtice amplio, cuyo centro desplaza frecuentemente de un lugar a otro propiciando así el desarrollo de vórtices menores.

Este tipo de floculador es de utilidad en los casos que se requiera bajos gradientes de velocidad pero las turbiedades sean moderadas y no contengan partículas pesadas. La formación de vórtices esta influenciada por las fuerzas de Coriolis.

En el hemisferio Sur tienden a girar en el sentido de las manecillas del reloj y en el Norte en sentido opuesto.

Floculadores Hidromecánicos

Son una solución intermedia entre los floculadores mecánicos y los hidráulicos que tienen la ventaja de permitir gran flexibilidad en el cambio de gradientes de velocidad (velocidad de rotación) aunque no se adapta a ciertas configuraciones de plantas de tratamiento.

Consiste en turbinas Pelton unidas a unas paletas de eje horizontal por medio de poleas tipo V o similares. En esta forma la energía hidráulica se convierte directamente en mecánica sin tener que transformarla primero en energía eléctrica.

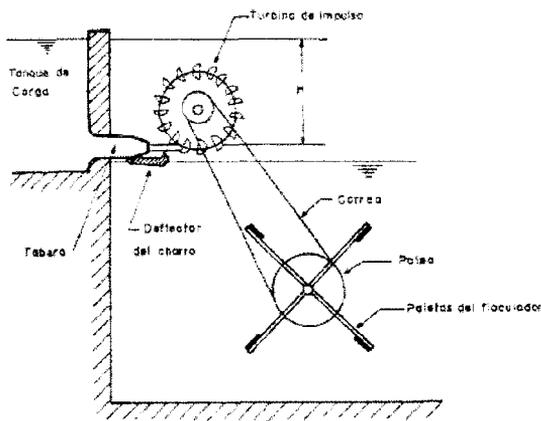


Fig.16.- Floculador Hidromecánico

Capítulo 2

2. DISEÑO DE FORMA

2.1. Parámetros de Diseño para el Sistema de floculación de Paletas Rotatorias

La floculación, como se explicó en el capítulo anterior, consiste en la aglutinación de las partículas, para formar los flóculos, que al cobrar tamaño y peso se precipitarán en el fondo del decantador.

Una vez dispersados los coagulantes hay que producir una lenta agitación en el agua para permitir el crecimiento del floc. Este crecimiento es inducido por el contacto entre partículas de diámetro mayor de "1 μ " creado por el gradiente de velocidad de la masa líquida.

Tres características básicas deben estudiarse en toda floculación:

- a. La forma de producir la agitación
- b. El gradiente de velocidad
- c. El tiempo de detención

Los dos objetivos básicos que se persiguen son:

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

La forma de producir la agitación depende de la selección del tipo de floculador que se empleó para tratar el agua.

Tanto el gradiente de velocidad como el tiempo de detención óptimo varían según el tipo de agua y deben de hallarse por experimentación.

Es muy importante tener en cuenta al respecto que la materia sólida en el floc, representa entre el 2-11 % de su volumen, y que el grado de hidratación depende del gradiente de velocidad que se comunique a la

masa líquida, lo cual influencia en el peso específico de las partículas formadas y su velocidad de asentamiento.

Concentración Volumétrica del floc

Si como sugiere Camp (1953), coagulamos una muestra de agua, la dejamos sedimentar, la colocamos frente a un microscopio, contamos el número de partículas presentes y medimos su diámetro, podemos calcular el volumen total del floc en un determinado volumen de agua. Este volumen puede expresarse en ml de floc o concentración de floc en una muestra dada.

$$\alpha V = \frac{\ln \frac{N_o}{N_t}}{G_t} \pi$$

donde

N_t = representa la materia que no ha sido floculada después del tiempo t
(turbiedad remanente),

N_o = representa la materia originalmente presente en el agua (turbiedad de agua cruda),

α = razón de adherencia,

G_t = gradiente de velocidad,

V = volumen de floc por unidad de volumen de agua

Por lo tanto, la concentración de floc V es inversamente proporcional a al gradiente de velocidad G y al tiempo de floculación t , conclusión esta es de gran valor práctico. En otras palabras, esto quiere decir que es posible variar el volumen del floc, cambiando la energía que se le comunique a la masa líquida o el período de detención del floculador. La figura No. 18, dibujada básicamente con los datos aportados por Camp, muestra el porcentaje de agua al volumen en el floc y su concentración, para diferentes gradientes de velocidad.

Se observa en dichas curvas claramente que al aumentar el gradiente de velocidad, disminuye la concentración de floc por cuanto disminuye el porcentaje de agua en él. Esto significa que si bien el floc es mas pequeño se hace mas compacto y puede tener una mayor velocidad de caída.

Lagvankar y Gemmel (1968), sugieren que este incremento de concentración puede deberse a que por la mayor agitación del líquido, se produce una distribución de partículas por tamaños, tal que el floc grande que es el mas hidratado y voluminoso, o no se forma o se forma y se rompe cuando alcanza el tamaño límite.

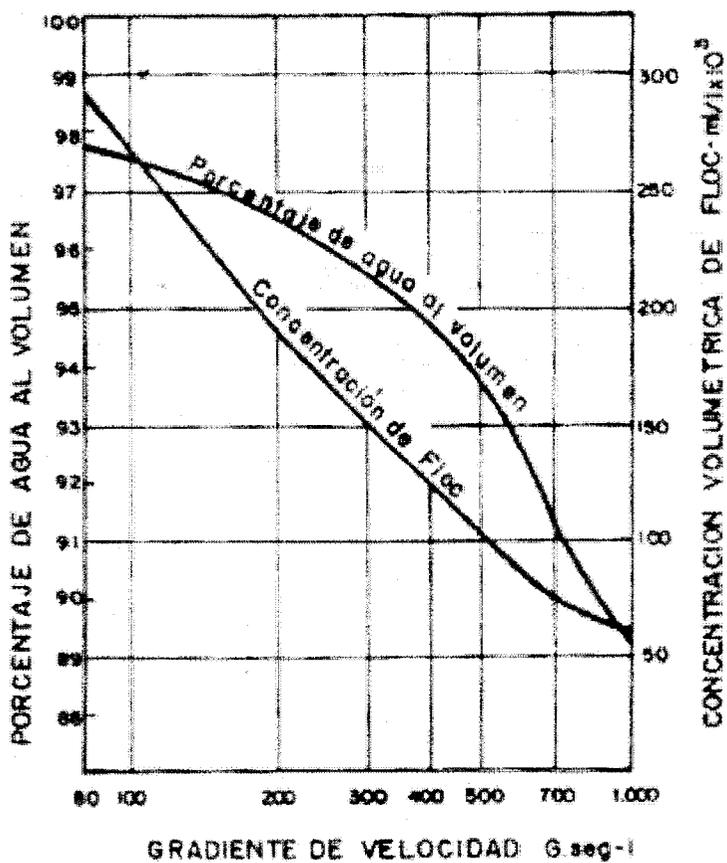


Fig.17.- Porcentaje de agua y volumen de floc para diferentes gradientes

De esta manera, el volumen de floc producido con baja velocidad de agitación, puede ser hasta 25 veces mas grande que el producido con alta velocidad de agitación. Tal cosa representa una gran diferencia en la fase de separación de sólidos que se realiza en los procesos de sedimentación y filtración. El floc producido con alto Gt puede reducir el trabajo de los filtros hasta 10 veces.

El floc esponjoso y grande suele por eso ser inconveniente, porque sedimenta con dificultad y llena rápidamente por su gran volumen los poros del medio filtrante.

Por otra parte, el volumen del floc depende de la dosis de coagulante que se aplique. Para el mismo gradiente, a mayor dosis mayor concentración volumétrica.

Gradiente de Velocidad (G)

La Gradiente de Velocidad en un líquido depende de la cantidad de energía disipada en el fluido y de la viscosidad de éste. Las gradientes de velocidad están afectadas por la velocidad rotacional del agitador tanto por la geometría del recipiente y de las paletas del agitador.

Para un agitador dado, con una velocidad rotacional constante, la gradiente de velocidad se incrementará si el canal de mezcla tiene pantallas para prevenir el *Flujo Laminar*. Esto sucede porque mas energía es disipada en el fluído, produciendo gradientes de velocidad mas altas.

Las gradientes de velocidad en plantas que tengan mezcladores mecánicos pueden estimarse utilizando la siguiente fórmula:

$$G = \frac{550P}{V\mu}$$

donde:

G: gradiente de velocidad en pies por segundo por pie
(s⁻¹).

μ: viscosidad (1.86 x 10⁻⁵ lbs-seg/pie² a 25 °C)

V: volumen del recipiente en pie³

P: caballos de fuerza del agua H.P.

550: Factor de conversión de H.P. a pie.lb/seg.

El gradiente de velocidad en floculadores mecánicos se distribuye de manera muy desigual en la masa de agua. En las paletas mas alejadas del eje, el gradiente de velocidad es varias veces mayor que en las

paletas cercanas al eje o junto al eje. El floc está, por eso, rompiéndose y volviéndose a formar continuamente.

El valor de G esta limitado por el máximo esfuerzo cortante, que puede resistir la partícula sin desintegrarse permanentemente, por la falta de oportunidad de volverse a aglutinar.

Es costumbre, por eso, disminuir el gradiente de velocidad en los diferentes compartimientos del floculador, de manera que el mayor valor de Gt se produzca al comienzo del proceso, cuando los grumos son mas pequeños, y el menor cuando el floc ha crecido y es mas sensible a la ruptura por esfuerzos cortantes.

El gradiente de velocidad óptimo para el Río Daule está calculado entre 20 y 30 s^{-1} .

Tiempo de Detención (t_d)

Tradicionalmente se ha empleado en el diseño de los reactores utilizados en plantas de tratamiento de agua el parámetro denominado "tiempo o período de retención".

Puesto que las operaciones y los procesos ocurren en general lentamente, tal como se ha señalado, y es necesario entonces un período de reacción largo o un período de contacto largo para lograr la transferencia y/o reacciones necesarias.

Se entiende por tiempo medio de resistencia o permanencia “ t_d ” del flujo en unidad, al cociente:

$$t_d = \frac{V}{Q}$$

siendo: V: volumen de la unidad

Q: caudal

Expresados en unidades homogéneas.

La permanencia es un concepto abstracto. Puede pensarse como el “tiempo promedio en el que el fluido de caudal Q pasa a través del reactor de volumen V”.

Es así mismo, el tiempo que tardaría una partícula cualquiera del fluido en entrar y salir de la unidad en el caso que todas las partículas del fluido evolucionarán en la misma forma dentro de esa unidad.

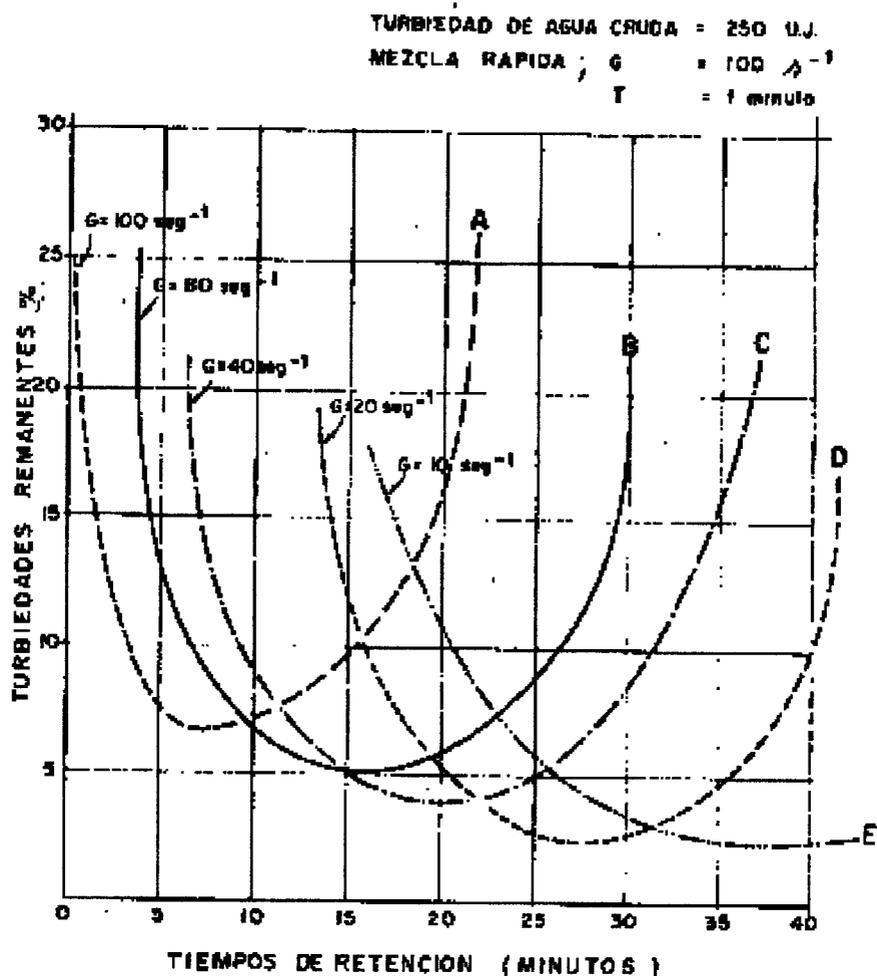


FIGURA 1
INFLUENCIA DEL PERÍODO DE RETENCIÓN EN LA
EFICIENCIA DE LA FLOCULACIÓN (PRUEBA DE JARRAS)

Figura 18.- Eficiencia del período de retención en la eficiencia de la floculación (Prueba de Jarras)

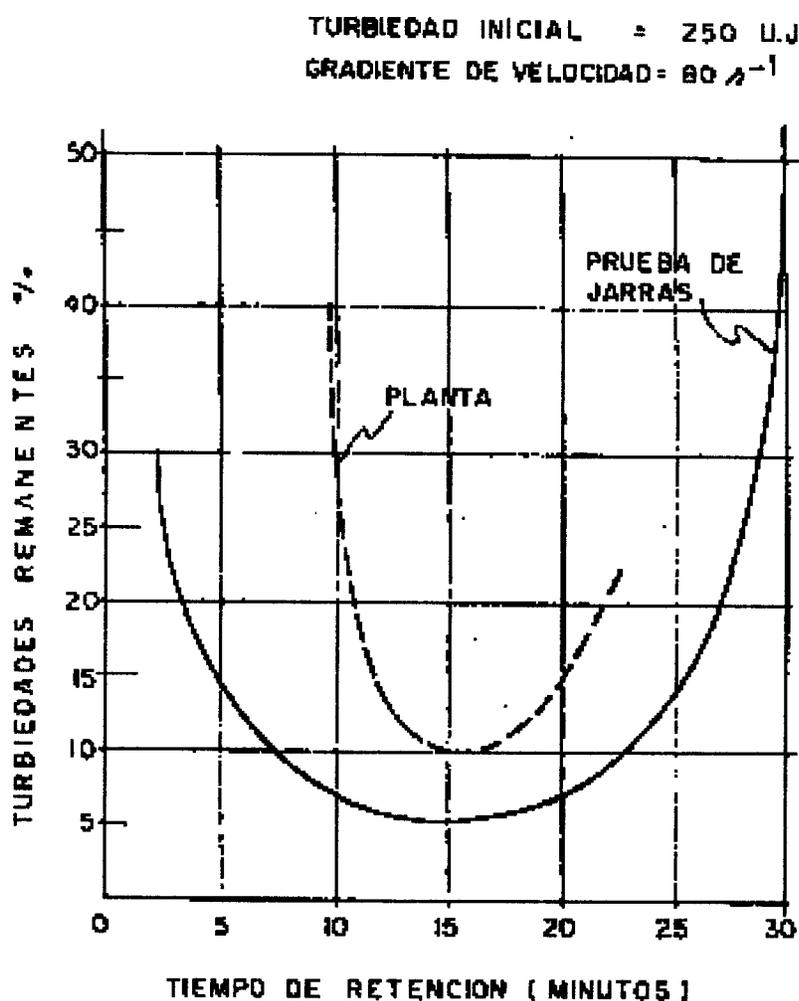


FIGURA 2
INFLUENCIA DEL PERIODO DE RETENCION EN
LA EFICIENCIA TEORICA (PRUEBA DE JARRAS)

Figura 19.- Eficiencia del período de retención en la eficiencia teórica (Prueba de Jarras)

En la práctica es difícil que esto ocurra ya que las condiciones hidráulicas del fluido (regiones muertas, corrientes de inercia, cortocircuitos, etc) hacen imposibles condiciones de flujo estable.

En la *Figura 19*, se presentan las eficiencias teóricas (pruebas de Jarras) en función de los gradientes de velocidad y tiempo de retención, presentando todas las curvas, puntos de máxima eficiencia, cualquier variación del tiempo de detención (corto-circuitos) en menos o en mas espacios muertos, produce apreciables disminuciones en la eficiencia; fenómeno que es mas importante cuanto mayor es el gradiente de velocidad utilizado.

Analizando la curva (B) que corresponde a un gradiente de velocidad de 80 s^{-1} , se presenta la máxima eficiencia remocional (95%) a los 15 minutos de tiempo de retención; con 10 y 20 minutos de retención disminuye la eficiencia a 92.5% y 93% respectivamente.

Al producir en las plantas condiciones similares, se produjeron, en primer lugar eficiencias menores (90%) a los determinados en los ensayos de laboratorio, y en segundo lugar mayor influencia de la variación del tiempo de retención, presentando eficiencias de 64% para un tiempo de retención de 10 y 20 minutos respectivamente. *Figura 20*.

2.1. Descripción General del Equipo

Los sistemas de floculación de paletas horizontales, constan de los siguientes elementos:

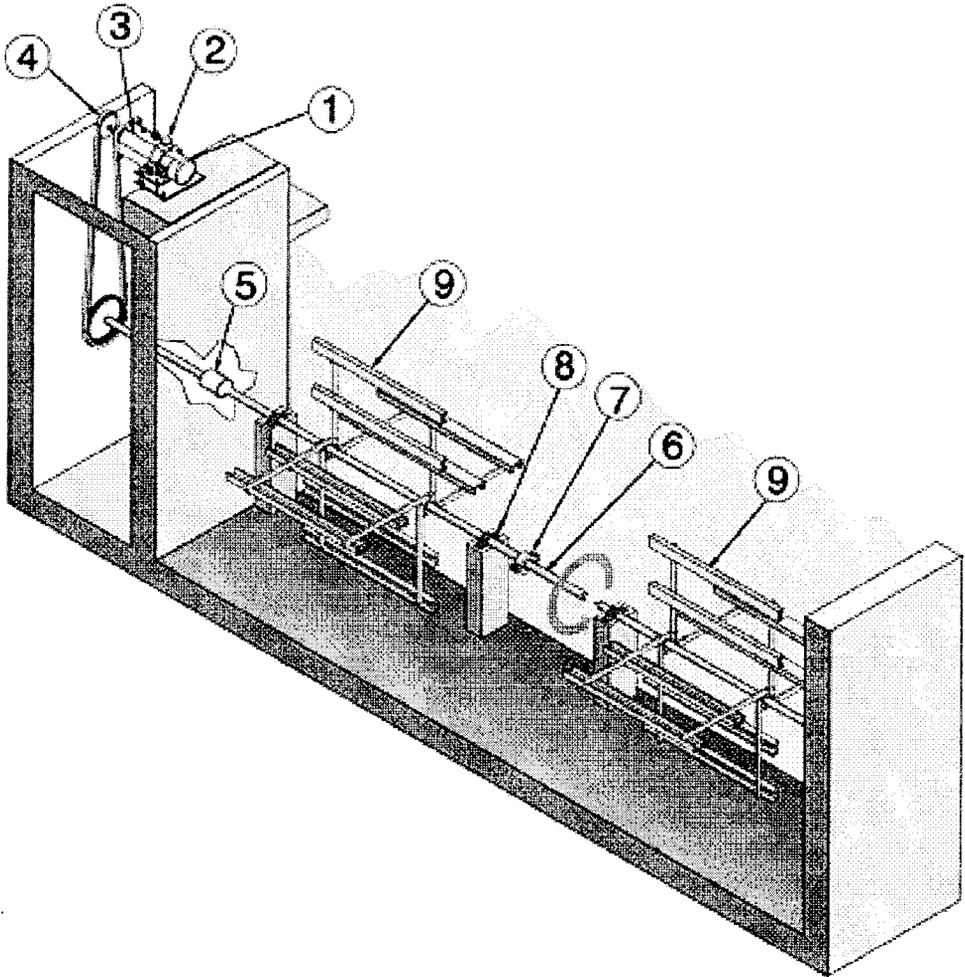


Figura 20.- Floculador horizontal de paletas

Motor Eléctrico: es seleccionado en base a los requerimientos del proceso, tomando en cuenta la eficiencia del equipo, las pérdidas de potencia en los elementos mecánicos y un factor de seguridad. Proporciona el gradiente de velocidad deseado.

Reductor de Velocidad: seleccionado en base a la potencia que se desee transmitir y la velocidad que se quiere impartir a las paletas de floculación, según los requerimientos del sistema. Se prefiere usar reductores de engranes helicoidales.

Variador de Velocidad: Permite la optimización del proceso de floculación. Se pueden conseguir variadores de velocidad por encima de un ratio 5:1 usando discos de tracción.

Transmisión de Potencia Piñón – Cadena: El movimiento es transferido desde el reductor a los piñones que montados en los ejes principales de las paletas de los floculadores. La manera como se realiza la transmisión del movimiento depende del espacio físico del que se disponga y del criterio del diseñador.

El arreglo piñón cadena proveen un radio de velocidad de hasta 4:1. La cadena puede funcionar en cámara secas o húmedas.

Adicionalmente se debe colocar un templador, para mantener constante la tensión de la cadena.

Prensaestopas: En casos donde se utilizan cámaras secas, se debe colocar prensaestopas en cada eje principal del sistema. La función de la prensaestopas es de impedir la entrada de agua a la cámara entre la pared y los ejes principales del sistema. Se recomienda lubricar con grasa la prensaestopas, para optimizar el funcionamiento de la misma.

Eje Principal de Floculador: El eje principal puede ser macizo o hueco, con uniones macizas en las chumaceras. Estos pueden ser de acero inoxidable o aceros al carbón con su respectivo recubrimiento, para evitar contaminación del agua. Los diámetros son seleccionados en base a las cargas, al torque de entrada, esfuerzos cortantes y de deflexión.

Elementos de unión: Estos elementos son generalmente bridas de unión, las cuales se colocan típicamente hacia un lado de las chumaceras por facilidad de instalación.

Chumaceras: El tamaño de chumacera se escoge en base al diámetro del eje requerido en cada caso.

Se pueden usar rodamientos de bolas, para una auto-alineación del eje, tomando como precaución que estén debidamente sellados para evitar la contaminación del agua.

Capítulo 3

3. DISEÑO DEL EQUIPO

El Sistema de Floculación que se va a diseñar, parte de las siguientes premisas:

1. El flujo de diseño de la planta es de 300.000 m³/día.
2. La planta constará de 4 sistemas, cada uno con tres cámaras de floculación.
3. Cada sistema recibe el mismo caudal de agua.
4. La temperatura promedio del agua es de 22°C.
5. El rango del gradiente de velocidad óptimo para el agua del Río Daule, ha sido calculado experimentalmente en el laboratorio (prueba de jarras), y varía entre 20 s⁻¹ y 30 s⁻¹.

Consideraciones de Diseño para Floculadores de Paletas

- El área total de las paletas no debe ser mayor del 15 al 20% de la sección transversal del tanque, con el objeto de prevenir la rotación general del líquido alrededor del eje, disminuyendo de esta manera la eficiencia de la agitación.
- La distancia entre los extremos de los agitadores se suele hacer no menor de 0.60 m y el espacio entre ellos y el fondo del tanque no menor de 0.15 m pero preferiblemente no mayor de 0.30 m.
- La velocidad de las paletas mas alejadas del eje se mantiene entre 0.3 y 0.90 m/s, dependiendo de las características del floc que se produce y del grado de compactación que se desee.
- Cuando se usan tabiques de madera, para dividir las cámaras de floculación, se suelen hacer estos dobles dejando un espacio libre entre las tablas, el cual varía entre 0.8 y 2.5 cm según la velocidad que se desee mantener.
- La relación entre la longitud de los sedimentadores y el ancho de las cámaras de floculación debe ser mínimo 2:1.
- Los tanques de sedimentación se los debe ubicar lo mas cerca del floculador.

Potencia disipada en floculadores mecánicos giratorios

Según Camp (1955), la fuerza de arrastre originada por el movimiento del líquido es igual a:

$$Fr = Cd * A * \rho * \frac{(v_2 - v_1)^2}{2} \quad (3.1)$$

En donde,

v_1 = velocidad de rotación del líquido

v_2 = velocidad periférica de rotación de las paletas

A = área transversal de las paletas

y por tanto:

$$P = Cd * A * \rho * \frac{(v_2 - v_1)^3}{2V} \quad (3.2)$$

En donde,

P = Potencia disipada por unidad de volumen.

$v_2 = 2\pi r n$, en donde n es el número de revoluciones, y

$v_1 = Kv_2$

$$P = Cd * A * \rho * \frac{(2\pi r n - 2\pi r n K)^3}{2V} = Cd * A * \rho * \frac{[2\pi r n(1 - K)]^3}{2V}$$

Por tanto:

$$P = 124 * Cd * A * \rho * r^3 * \frac{(1 - K)^3 n^3}{V} \quad (3.3)$$

en donde, $A = m^2$, $\rho = Kg/m^3$, $n = r/s$, $r = m$, $V = m^3$.

Esta fórmula es para el caso de una sola paleta, como generalmente se utilizan varios travesaños colocados en el mismo agitador a diferentes distancias "r" del eje, se tiene:

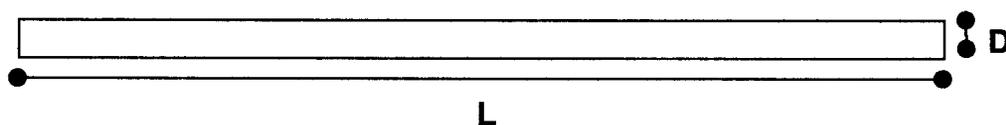
$$P = 124 * Cd * \rho * \frac{(1-K)^3 n^3}{V} \sum A * r^3 \quad (3.4)$$

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

Camp determinó que una vez que se establece el equilibrio, K varía entre 0.24 y 0.32, y que este valor tiende a decrecer al incrementar la velocidad de rotación del eje. Fair (1956), sugiere utilizar un valor de $K = 0.25$. La fórmula (3.3) puede reescribirse,

$$P = 52.3 * Cd * \rho * n^3 \frac{\sum A * r^3}{V} \quad (3.4)$$

**TABLA 3.1.- VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE ARRASTRE PARA UNA
PLACA PLANA DE ANCHO FINITO NORMAL AL FLUJO.**



L/w	N_{Re}	C_d
1	$>10^3$	1.16
5	$>10^3$	1.20
20	$>10^3$	1.50
40	$>10^3$	1.80
∞	$>10^3$	1.95

**TABLA 3.2.- FACTOR DE EFICIENCIA DE LOS FLOCULADORES
MECÁNICOS DE PALETAS**

Tipo de Floculador	Factor de Eficiencia
Paletas Horizontales	3 – 5
Paletas Verticales	2 – 4

si hacemos

$$F = 52.3 * Cd * \rho \frac{\sum A * r^3}{V} \quad (3.5)$$

se tiene que

$$P = F * n^3 \quad (3.6)$$

La potencia en el eje será igual a la potencia multiplicada por el factor de eficiencia. (TABLA 3.2)

Gradiente de velocidad en floculadores mecánicos giratorios

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

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu}} \quad (3.7)$$

reemplazando (3.6) en la formula de gradiente se obtiene:

$$G = \sqrt{\frac{F}{\mu}} * n^{3/2} \quad (3.8)$$

o sea que el gradiente G es proporcional al número de revoluciones elevado a la tres medios.

El gradiente de velocidad en los floculadores mecánicos se distribuye en forma muy desigual en la masa de agua. En las paletas mas

alejadas al eje, el gradiente es varias veces mayor que en las paletas cercanas al eje o junto al eje. El floc, por eso, esta rompiéndose y volviéndose a formar continuamente.

El valor de G esta limitado por el máximo esfuerzo cortante, que puede resistir la partícula sin desintegrarse permanentemente, por la falta de oportunidad de volverse a aglutinar.

Es costumbre, por eso, disminuir el gradiente de velocidad en los diferentes compartimientos del floculador, de manera que el mayor valor de Gt se produzca al comienzo del proceso, cuando los grumos son mas pequeños, y el menor cuando el floc ha crecido y es mas sensible a la ruptura por esfuerzos cortantes.

3.1 Cálculo de Potencia Disipada por las Paletas de Floculación

Antes de proceder al cálculo de la potencia disipada por las paletas de floculación, debemos dimensionar nuestro sistema.

Para ello disponemos de los siguientes datos:

- ☛ Caudal máximo de diseño: 300.000 m³/día
- ☛ Gradiente de velocidad (Río Daule): 20 – 30 seg⁻¹
- ☛ Dimensiones de las Cámaras de Floculación:

<u>Cámaras de Floculación:</u>	<u>Sistemas 1 – 2 y 3 – 4</u>
Ancho (normal al flujo)	20.0 m
Longitud (paralela al flujo)	16.4 m
Profundidad total	5.45 m
Profundidad útil	5.0 m
Volumen total	3280 m

Cálculo del tiempo de detención t_d

$$Q = 300.000 \frac{m^3}{dia} \times \frac{1}{24} \frac{dia}{h} \times \frac{1}{60} \frac{h}{min} = 208.4 \frac{m^3}{min}$$

$$Q_{SISTEMA} = \frac{Q}{\# sistemas} = \frac{208.4 \frac{m^3}{min}}{4} = 52.1 \frac{m^3}{min}$$

$$t_d = \frac{V}{Q}$$

Sistemas 1 y 2

$$t_d = \frac{1640 m^3}{52.1 \frac{m^3}{min}} = 31.5 \text{ min}$$

Sistemas 3 y 4

$$t_d = \frac{1640 m^3}{52.1 \frac{m^3}{min}} = 31.5 \text{ min}$$

Tabla de Resultados

	Q (m ³ /min)	V (m ³)	t _d (min)
Sistemas 1 – 2	52.1	1640	31.5
Sistemas 3 – 4	52.1	1640	31.5

Dimensionamiento de los Floculadores

- Requerimientos de Potencia

a) Asumimos valores de G para cada compartimiento:

1^{er} compartimiento: $G = 40 \text{ seg}^{-1}$

2^{do} compartimiento: $G = 30 \text{ seg}^{-1}$

3^{er} compartimiento: $G = 20 \text{ seg}^{-1}$

b) Calculamos la potencia requerida para cada compartimiento a partir de la fórmula (3.7) de gradiente de velocidad

$$P = G^2 * \mu * V$$

donde,

V= es el volumen de cada compartimiento (m^3),

$\mu = 9.69 \times 10^{-4} \text{ N.s/m}$ ($22 \text{ }^\circ\text{C}$)

Reemplazando estos valores en la fórmula se obtienen los siguientes resultados:

		G (seg^{-1})	V (m^3)	μ (N.s/m)	P (Watt)
Sistemas 1 -2 y 3 - 4	Comp. 1	40	546.7	9.69×10^{-4}	847.6
	Comp. 2	30			476.7
	Comp. 3	20			211.9

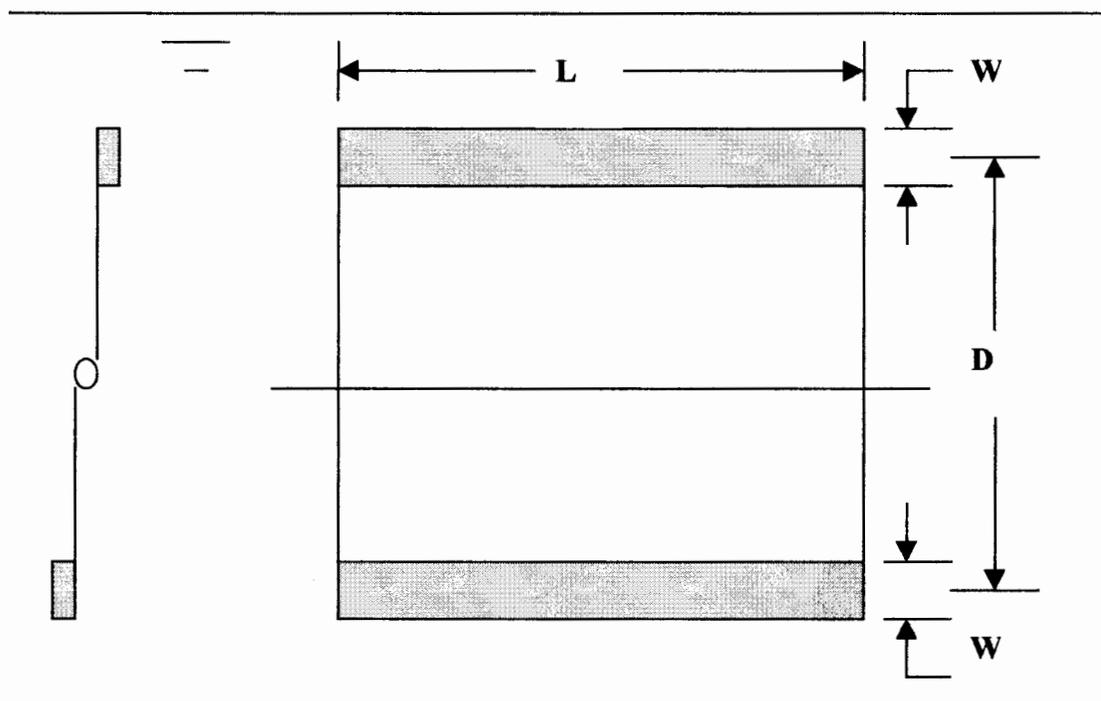


Fig. 21.- Dimensionamiento de las paletas

- **Dimensionamiento de las paletas**

Asumimos un juego de paletas simple con 2 paletas de ancho W , y longitud L .

El ancho total (L_{total}) de la cámara es de 20 m., y como vamos a utilizar 5 juego de paletas, entonces podemos encontrar el valor L . De las consideraciones de diseño antes mencionadas, podemos asumir que la separación entre los extremos de las paletas es de 0.50 cm.

$$L_{total} = Lx(5 \text{ juegopaletas}) + 0.50x(5 \text{ juegopaletas})$$

$$L = \frac{L_{total} - 2.5}{5}$$

$$L = \frac{20 - 2.5}{5} = 3.5m$$

De la fórmula general de Potencia se tiene:

$$P = \frac{Cd * A * \rho * Vr^3}{2} \quad (3.2)$$

donde,

$$\rho = 1024 \text{ Kg/m}^3 \text{ a } 22 \text{ }^\circ\text{C}$$

Asumimos un valor de $Cd = 1.8$ de la Tabla 3.1

Vr = velocidad relativa de las paletas respecto al líquido.

$$Vr = (1 - K)Vp$$

$$K = 0.25$$

Vp = es la velocidad periférica de las paletas (0.3 – 0.9 m/seg)

Seleccionamos un Vp de 0.65 m/seg. y reemplazando se obtiene:

$$Vr = (1 - 0.25) \times 0.65$$

$$Vr = 0.49 \frac{m}{seg}$$

Área de las paletas:

$$A = \text{Longitud} - \text{paletas} * W * \text{numero} - \text{paletas}$$

$$A = (3.50)(W)(5 \text{ juego} - \text{paletas} * 2 \text{ paletas} / \text{seccion})$$

$$A = 35W$$

Calculamos W , y por simplicidad asumimos la misma configuración para los otros dos compartimientos.

$$P = \frac{Cd * A * \rho * Vr^3}{2}$$

$$847.6 = \frac{1.8 * 35W * 1024 * 0.49^3}{2}$$

$$W = 0.22m$$

Este resultado nos indica el ancho máximo que debe tener la paleta mas alejada al eje.

Debido a que la configuración de los floculadores es estrictamente a criterio del diseñador, y recordando las consideraciones de diseño, el área total de las paletas debe estar entre 15 al 20% de la sección transversal del tanque, procedemos a dimensionar el sistema.

- a. Seleccionamos un total de 6 paletas por floculador, 3 por brazo.

$$W_1 = 0.20 \text{ m}$$

$$W_2 = 0.15 \text{ m}$$

$$W_3 = 0.10 \text{ m}$$

- b. Comprobamos si el área total de las paletas no excede al 20% de la sección transversal del tanque

$$A_{\text{tanque}} = 20 \times 5 = 100 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{paletas}} = (3.5 \times 0.20 + 3.5 \times 0.15 + 3.5 \times 0.10) (2 \text{ brazos} \times 5 \text{ juegos-paletas})$$

$$A_{\text{paletas}} = 16.5 \text{ m}^2$$

Observamos que el área de las paletas representa el 16.5% del área transversal del tanque, por lo tanto cumplimos con la condición.

Tabla de Resultados:

	Sistema 1 – 2	Sistema 3 - 4
<i>Número flocladores</i>	5	5
<i>Brazos por floclador</i>	2	2
<i>Número de paletas por brazo</i>	3	3
<i>Dimensiones de las paletas</i>	Tablón 1: 3.50 x 0.20 m Tablón 2: 3.50 x 0.15 m Tablón 3: 3.50 x 0.10 m	Tablón 1: 3.50 x 0.20 m Tablón 2: 3.50 x 0.15 m Tablón 3: 3.50 x 0.10 m

Lo que se debe hacer a continuación es ubicar las paletas con respecto al eje principal, y el definir el diámetro exterior (D_{ext}) de los flocladores, considerando que la distancia entre las paletas y el fondo del tanque debe ser mayor de los 0.3 m.

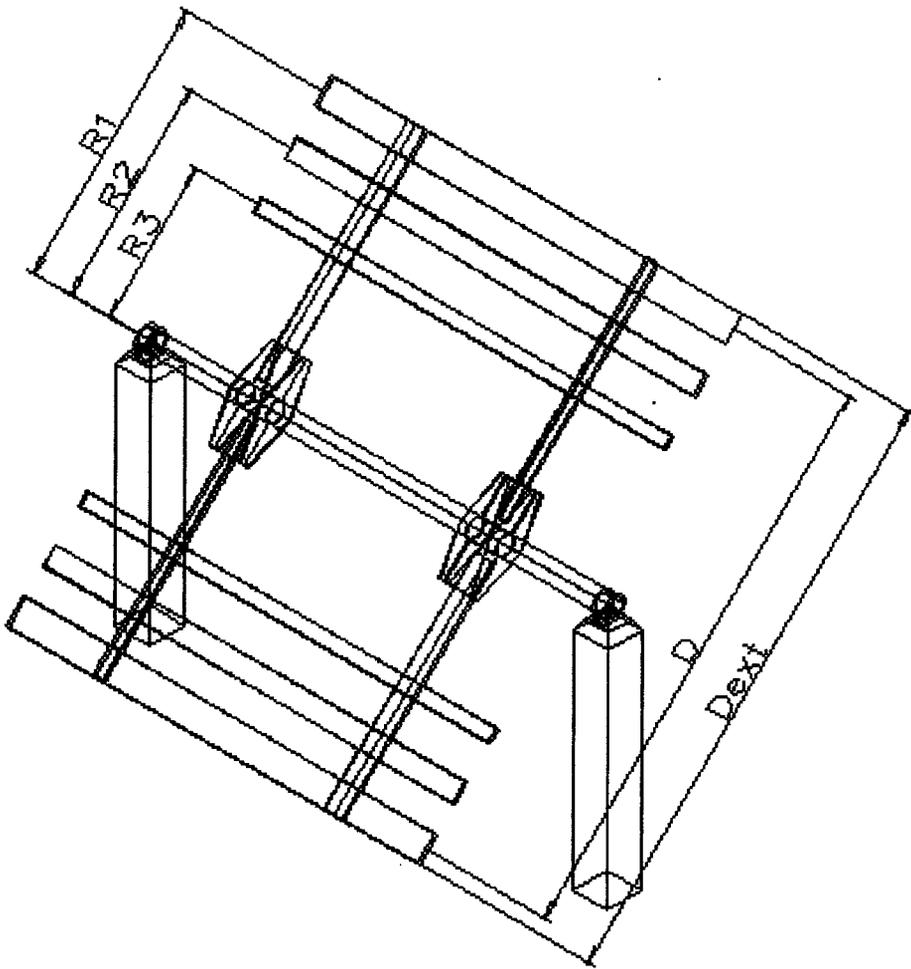


Fig. 22.- Configuración de las paletas de los floculadores

Por simplicidad haremos que los floculadores de las 3 cámaras tengan las mismas dimensiones. Por lo tanto, se obtiene la siguiente tabla:

	Sistema 1 – 2	Sistema 3 - 4
R1	1.84 m	1.84 m
R2	1.44 m	1.44 m
R3	1.04 m	1.04 m
Longitud de cámara	5.46 m	5.46 m
Diámetro exterior (Dext)	3.91 m	3.91 m
Diámetro medio (D)	3.68 m	3.68 m
Distancia entre floculador fondo del tanque	0.26 m	0.26 m

• **Cálculo de la velocidad rotacional aproximada en cada compartimiento**

1^{er} compartimiento

$$P = \frac{Cd * Ap * \rho * V_r^3}{2}$$

$$V_r = \sqrt[3]{\frac{2P}{Cd * 35W * \rho}}$$

$$V_r = \sqrt[3]{\frac{2 * 847.6}{1.8 * (35 * 0.20) * 1024}}$$

$$V_r = 0.49 \text{ m / seg}$$

$$N_2 = \frac{0.49}{0.75 * \pi * 3.68} = 0.0565 \text{ rps}$$

$$N_2 = 3.4 \text{ RPM}$$

2^{do} compartimiento:

$$P = \frac{Cd * Ap * \rho * V_r^3}{2}$$

$$V_r = \sqrt[3]{\frac{2P}{Cd * 35W * \rho}}$$

$$V_r = \sqrt[3]{\frac{2 * 476.7}{1.8 * (35 * 0.1) * 1024}}$$

$$V_r = 0.40 \text{ m / seg}$$

$$N_2 = \frac{0.40}{0.75 * \pi * 3.68} = 0.0461 \text{ rps}$$

$$N_2 = 2.8 \text{ RPM}$$

3er compartimiento:

$$P = \frac{Cd * Ap * \rho * V_r^3}{2}$$

$$V_r = \sqrt[3]{\frac{2P}{Cd * 35.3W * \rho}}$$

$$V_r = \sqrt[3]{\frac{2 * 211.9}{1.8 * (35 * 0.20) * 1024}}$$

$$V_r = 0.31 \text{ m / seg}$$

$$N_2 = \frac{0.31}{0.75 * \pi * 3.68} = 0.036 \text{ rps}$$

$$N_2 = 2.2 \text{ RPM}$$

Cálculo de la Potencia disipada por las paletas

De la Formula (3.4) se tiene que:

$$P = 52.3 * Cd * \rho * n^3 \frac{\Sigma A * r^3}{V} \quad (3.4)$$

donde,

$Cd = 1.4$ (Tabla 3.1)

$\rho = 1024 \text{ Kg/m}^3$

$V = 546.7 \text{ m}^3$

$\Sigma A * r^3$: es la suma de los productos del área de las paletas

por su distancia de rotación al eje

$$\Sigma A * r^3 = A_1 \times R_1^3 + A_2 \times R_2^3 + A_3 \times R_3$$

$$\Sigma A * r^3 = (2 \times (0.2 \times 3.5) \times 1.84^3) + (2 \times (0.15 \times 3.5) \times 1.44^3) +$$

$$(2 \times (0.10 \times 3.5) \times 1.04^3)$$

$$\Sigma A * r^3 = 12.7 \text{ m}^5$$

Reemplazamos en 3.1 y nos queda la potencia unitaria en función de n^3 :

$$P = 52.3 * 1.4 * 1024 * n^3 \frac{(12.7) \times 5 \text{ juegos} - \text{paletas}}{546.7}$$

$$P = 8708n^3$$

La Potencia al eje será igual a la potencia nominal por un Factor de Eficiencia del motor, (Tabla No. 3.2). En este factor se incluyen las pérdidas mecánicas del equipo, así como las pérdidas producidas por la eventual formación de cortocircuitos, zonas muertas y demás pérdidas debido al movimiento de la masa de agua, lo cual es difícil cuantificar. Generalmente se utiliza un valor de 3.5.

$$P_T = P * V * F_e$$

$$P_T = 8708n^3 \times 546.7 \times 3.5$$

$$P_T = 1.67 \times 10^7 n^3 [\text{Watts}]$$

De la ecuación de Gradiente de velocidad (Fórmula 3.7)

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu}} \quad (3.7)$$

se tiene que

$$G = \sqrt{\frac{8708}{9.69 \times 10^{-4}} n^{\frac{3}{2}}}$$

$$G = 2998 n^{\frac{3}{2}}$$

Con las ecuaciones anteriores, se obtiene la siguiente tabla de resultados:

n (RPM)	G (seg⁻¹)	P Disipada (Watts)	P al eje KW (HP)
4	51.6	1410,6	4.9 (6.6)
3.42	40.4	866,3	3.0 (4.1)
3	33.5	595,1	2.1 (2.8)
2.80	30.2	483,8	1.7 (2.3)
2.52	25.5	344,4	1.2 (1.6)
2.16	20.3	219,0	0.8 (1.0)
1.98	18.3	176,3	0.6 (0.8)

El gradiente de velocidad óptimo para el agua del Río Daule está entre 20 y 30 seg⁻¹, sin embargo, en la práctica se recomienda, considera gradientes un poco mayores.

TABLA DE RESULTADOS

	Velocidad de Rotación (RPM)	Velocidad Periférica (m/seg)	Gradiente de Velocidad (seg⁻¹)	Potencia Total Disipada (Watt)
Cámara I	3.4	0.65	40.4	866.3
Cámara II	2.8	0.53	30.2	483.3
Cámara III	2.2	0.41	20.3	219

Eficiencia del Proceso de Floculación

Argaman y Kaufman establecen que la eficiencia del proceso de floculación se puede expresar así:

$$\eta = 1 - \frac{N_t}{N_o}$$

$$N_o = 1 + K_A G T$$

$$N_T = 1 + K_B G^2 T$$

Donde:

N_t = Concentración de partículas que quedan sin flocular después de un tiempo de detención nominal

N_o = Concentración de partículas que entran a la cámara de floculación

K_A = Coeficiente de agregación

K_B = Coeficiente de ruptura

Tipo de Floculación	K_A	K_B	$G (s^{-1})$	T (min)
Convencional	0.5 a 4×10^{-5}	0.5 a 1.2×10^{-7}	15 a 80	15 a 45

Lo esencial es mantener N_T lo más cercano posible a la unidad y N_o lo más alto posible. Para el caso de La Toma, los valores a utilizar serán:

G: $40 s^{-1}$

T: 35 min

K_A : 1.8×10^{-5}

K_B : 0.76×10^{-7}

Reemplazando los valores se obtiene una eficiencia del 51%.

3.2 Selección del Sistema de Transmisión de Potencia

Existen diferentes arreglos para la transmitir potencia en este tipo de flocladores:

- A. Utilizar un motor individual para cada compartimiento, de acuerdo a la potencia requerida para cada uno. Por lo general este tipo de arreglo no requiere de una cámara adicional para colocar los motores.
- B. Utilizar un solo motor para mover los tres compartimentos, mediante sistemas piñón – cadena para obtener las velocidades requeridas. En este tipo de arreglo se hace necesario la construcción de una cámara adicional, no sumergida.

Para nuestro caso, optamos por el primer arreglo.

Selección de los motores

La Cámara I requiere un motor de 4 HP, la Cámara II requiere uno de $2\frac{1}{2}$ HP y la Cámara III requiere uno de 1 HP. Cada motor debe incluir su propio variador mecánico de velocidad que pueda darne velocidades en los ejes entre 2 y 4 RPM.

De las Tablas de selección del Apéndice, seleccionamos los motorreductores con las potencias y velocidades requeridos.

Escogemos los siguientes motores:

- 3211N – 1.5 Kw. a 6RPM de salida
- 4321 T – 4 Kw. a 6 RPM de salida
- 4321T – 5.5 Kw. a 6 RPM de salida

Selección del Juegos de Piñones y de la Cadena

Para la selección de la transmisión por cadenas, recurrimos a un catálogo de selección. **Catálogo 1090 - MARTIN.** (Ver anexo)

1. *Selección del Factor de Servicio*
2. *Determinación del Diseño de H.P.*

$$C_R = \text{Potencia} \times \text{Factor de Servicio (F}_S)$$

3. *Selección de Transmisión – (Tablas E166 – E174)*
4. *Cálculo del Paso y # de dientes del Piñón conductor*
5. *Cálculo del # de dientes del Piñón conducido*

TABLA 3.4.- CLASIFICACIÓN DEL SERVICIO DEL MOTOR

Clasificación Del Servicio	Tipo de Poder de Entrada		
	Motor de Combustión Interna Transmisión Hidráulica	Motor Eléctrico O Turbina	Motor de Combustión Interna Transmisión Mecánica
Carga uniforme	1.0	1.0	1.2
Carga fluctuante	1.2	1.3	1.4
Carga muy fluctuante	1.4	1.5	1.7

Cámara I:

1. Clase de servicio – Carga uniforme (Tabla 4)
2. Factor de servicio – 1.0
3. Diseño de H.P. – $1 \times 4 = 4$ H.P.
4. Selección – Los rangos de selección de la página E171

Sprocket No. 180B17

El piñón 180B17 a 10 RPM transmite 6.79 HP

$$\% = \frac{(10 - 6)RPM}{10RPM} \times 100\% = 40\%$$

El 40% de 6.79 HP es 2.72 H.P.

$$PREAL = 6.79 - 2.72 = 4.07 \text{ HP}$$

5. Número de dientes del sprocket impulsado

$$R = \frac{RPM_{conductor}}{RPM_{conducido}}$$

$$R = \frac{6}{3.4} = 1.76$$

$$\#Dientes - conducido = R \times \#Dientes - conductor$$

$$\#Dientes - conducido = 1.76 \times 17 = 30$$

Comprobamos la velocidad (RPM) del piñón conducido

$$R = \frac{\#Dientes - conducido}{\#Dientes - conductor} = \frac{30}{17} = 1.76$$

$$RPM_{conducido} = \frac{RPM_{conductor}}{R} = \frac{6}{1.76} = 3.4RPM$$

Piñón conducido **No. 180B30**

Cámara II:

1. Clase de servicio – Carga uniforme (Tabla 4)
2. Factor de servicio – 1.0
3. Diseño de H.P. – $1 \times 2.5 = 2.5$ H.P.
4. Selección – Los rangos de selección de la pagina E170

Sprocket No. 160B15

El piñón 160B17 a 10 RPM transmite 4.30 HP

$$\% = \frac{(10 - 6)RPM}{10RPM} \times 100\% = 40\%$$

El 40% de 4.30 HP es 1.72 H.P.

$$PREAL = 4.3 - 1.72 = 2.58 \text{ HP}$$

5. Número de dientes del sprocket impulsado

$$R = \frac{RPM_{conductor}}{RPM_{conducido}}$$

$$R = \frac{6}{2.8} = 2.14$$

$$\#Dientes - conducido = R \times \#Dientes - conductor$$

$$\#Dientes - conducido = 2.14 \times 15 = 32$$

Comprobamos la velocidad (RPM) del piñón conducido

$$R = \frac{\#Dientes - conducido}{\#Dientes - conductor} = \frac{32}{15} = 2.13$$

$$RPM_{conducido} = \frac{RPM_{conductor}}{R} = \frac{6}{2.13} = 2.8RPM$$

Piñón conducido **No. 160B32**

Cámara III:

1. Clase de servicio – Carga uniforme (Tabla 4)
2. Factor de servicio – 1.0
3. Diseño de H.P. – $1 \times 1 = 1$ H.P.
4. Selección – Los rangos de selección de la pagina E170

Sprocket No. 140B11

El piñón 140B11 a 10 RPM transmite 2.12 HP

$$\% = \frac{(10 - 6)RPM}{10RPM} \times 100\% = 40\%$$

El 40% de 2.12 HP es 0.85 H.P.

$$P_{REAL} = 2.12 - 0.85 = 1.27 \text{ HP}$$

5. Número de dientes del sprocket impulsado

$$R = \frac{RPM_{conductor}}{RPM_{conducido}}$$

$$R = \frac{6}{2.2} = 2.72$$

$$\#Dientes - conducido = R \times \#Dientes - conductor$$

$$\#Dientes - conducido = 2.72 \times 11 = 30$$

Comprobamos la velocidad (RPM) del piñón conducido

$$R = \frac{\#Dientes - conducido}{\#Dientes - conductor} = \frac{30}{11} = 2.72$$

$$RPM_{conducido} = \frac{RPM_{conductor}}{R} = \frac{6}{2.72} = 2.2RPM$$

Piñón conducido No. **140B30**

Longitud de las cadenas

Para hallar la longitud de las cadenas que vamos a utilizar, debemos utilizar la siguiente fórmula:

$$L = 2C + \frac{N+n}{2} + \frac{A}{C}$$

donde :

L: longitud de la cadena

C: distancia entre centros

N: número de dientes del sprocket mayor

n: número de dientes del sprocket menor

A: ver tabla E-148 / E-149

La distancia entre los centros para todos los motores será de 2.12 m.

Reemplazando los valores en la fórmula se obtiene lo siguiente:

	CAMARA I	CAMARA II	CAMARA III
C	2.12	2.12	2.12
N	30	32	30
n	17	15	11
A	4.28	7.32	9.14
L	30 m	32 m	29 m

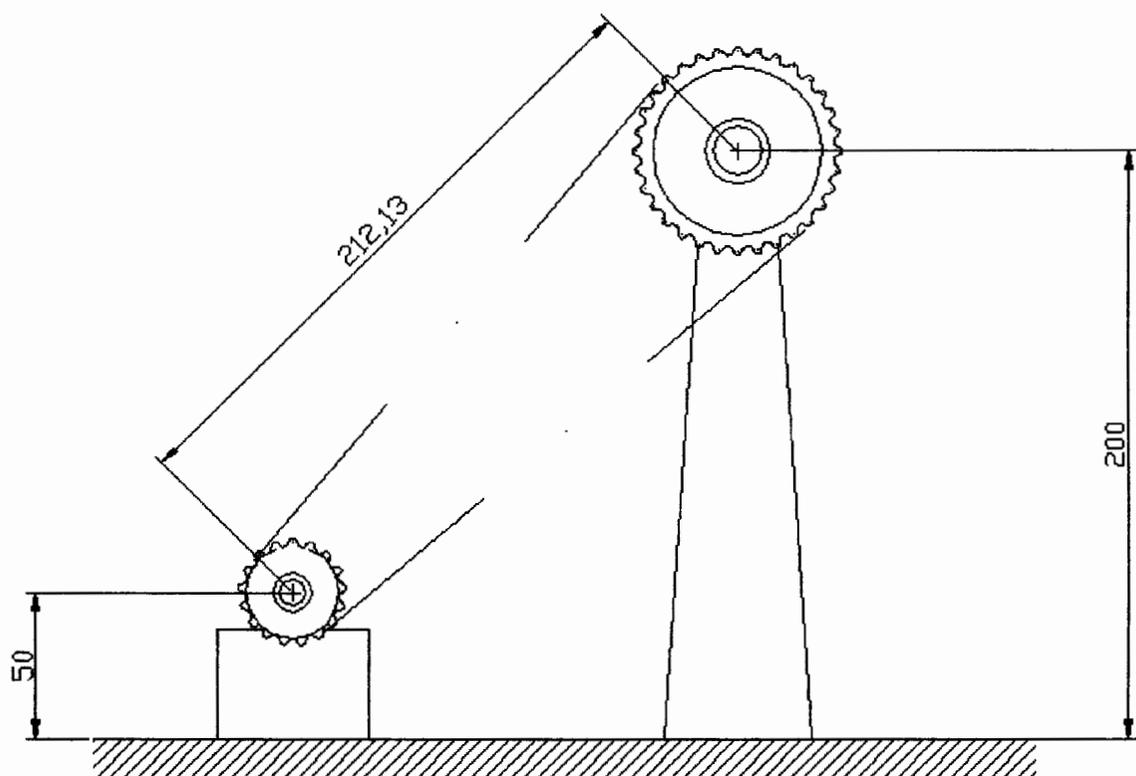


Fig. 23.- Distancia entre centros de piñones

3.3 Diseño de la Cámara de Floculación

Para determinar las dimensión de la cámara de floculación, necesitamos los siguientes datos:

- a) El caudal máximo de agua que queremos tratar.
- b) El tiempo de detención (t_d) estimado. Cuando los gradientes de velocidad son bajos, los tiempos de detención son altos, generalmente entre 25 y 35 min.
- c) El espacio físico disponible para ubicar nuestros sistemas.

Procedimientos de Diseño

- ↪ Se determina el caudal de agua cruda que se desea tratar
- ↪ Se estima el tiempo de detención (t_d)
- ↪ Se calcula el volumen total de agua
- ↪ Se determina el espacio físico que se dispone para construir las cámaras de floculación.
- ↪ Se determina el número de cámaras de floculación que tendrá nuestro sistema.
- ↪ Se calculan las dimensiones de las cámaras.

Se debe tener presente que la profundidad máxima de los tanques no debe exceder los 5 m.

Cálculos:

- Caudal máximo de la planta: 300.000 m³/día (208.4 m³/min)
- Tiempo de detención t_d : 30 min
- Volumen = $Q_T \times t_d$

$$V = 208.4 \text{ m}^3/\text{min} \times 30 \text{ min} = 6250 \text{ m}^3.$$

Se dispone de un área total 5000 m² para ubicar los clarificadores, de los cuales se ocuparán 4500 m².

Se proyectan cuatro sistemas, cada uno consta de tres cámaras de floculación y un sedimentador en línea. Se debe recordar que la relación entre la longitud (paralela al flujo) de los sedimentadores y el ancho (normal al flujo) debe ser 2:1.

$$A_{\text{TOTAL DISPONIBLE}} = 4500 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{SISTEMA}} = A_T / 4 = 4500 / 4 = 1125 \text{ m}^2$$

El ancho de cada sistema será 20m. Por lo tanto, la longitud de los sedimentadores será 40m. La longitud de las cámaras de floculación será por lo tanto, 16.4 m.

El área total ocupada por cada sistema será: 56.4 x 20= 1128 m².

- Longitud cada compartimiento = $16.4 / 3 = 5.47$
- Área total de las cámaras de floculación : $20 \times 16.4 = 328 \text{ m}^2$
- Profundidad útil = Volumen sistema / Área cámaras de floculación

$$V_{\text{SISTEMA}} = V_{\text{TOTAL}} / 4 = 6250 / 4 = 1562.5 \text{ m}^3$$

$$\text{Profundidad útil} = 1562.5 / 328 = 4.76 \text{ m.}$$

Los resultados obtenidos son:

<u>Cámaras de Floculación:</u>	<u>Sistemas 1 y 2 – 3 y 4</u>
Ancho (normal al flujo)	20.0 m
Longitud (paralela al flujo)	16.4 m
Profundidad útil	5.0 m
Volumen total	3280 m

3.4 Selección de Materiales

Una vez dimensionado nuestro sistema de floculación, debemos seleccionar cada uno de los elementos que utilizaremos para la construcción de los floculadores.

Eje principal

El eje principal de los floculadores es la parte mas importante de nuestro sistema, ya que debe ser seleccionado de tal manera que resista las fuerzas de deflexión y torsión a las cuales esta sometido.

Disponemos de los siguientes datos:

- Longitud: 20 m (ancho de la cámara)
- Número de apoyos: 6
- Distancia entre apoyos: 3.94 m
- Peso del tubo
- Cargas Hidrostáticas: Presión del agua
- Altura del agua: 3 m
- Cargas de Torsión: La Potencia transmitida al agua

Carga Hidrostática:

$$p = \rho gh$$

$$p = \frac{F}{A}$$

donde:

ρ : 1024 Kg/m³ (agua a 22°C)

F: Fuerza promedio debido a la presión del agua

A= $\phi_{\text{eje}} \times L$ (área proyectada del eje)

Si igualamos ambas ecuaciones y despejamos la Fuerza por unidad de longitud (w), en función del diámetro del eje, obtenemos:

$$w = \frac{F}{L} = \rho gh \phi_{EJE}$$

Si observamos la distribución de la carga y el número de reacciones, no damos cuenta que nuestro elemento es estáticamente indeterminado.

Para resolver este problema, existen varios métodos, sin embargo, actualmente contamos con softwares especialmente

diseñados para cálculos de estructuras, entre ellos tenemos el SAP2000.

Lo que debemos determinar es el diámetro apropiado del eje, para ello debemos utilizar las teorías de fallas conocidas. En este caso utilizaremos la Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo (Von Misses).

Cálculo de Momentos Máximos

Lo primero que debemos calcular es la Fuerza por unidad de longitud que actúan sobre el eje. Para ello debemos asumir el diámetro del eje. Luego, mediante el uso del SAP2000 se calculan las reacciones, fuerzas cortantes y Momentos Máximos.

La Tabla muestra los resultados obtenidos:

ϕ_{EJE}	W_{AGUA} (N/m)	W_{TUBO} (N/m)	M_{MAX} (N.m)
3"	2676	136	4774
4"	3441	199	6199
5"	4254	275	7739
6"	5067	379	9331

La carga distribuida total es igual a la suma de la carga hidrostática mas la del peso del tubo.

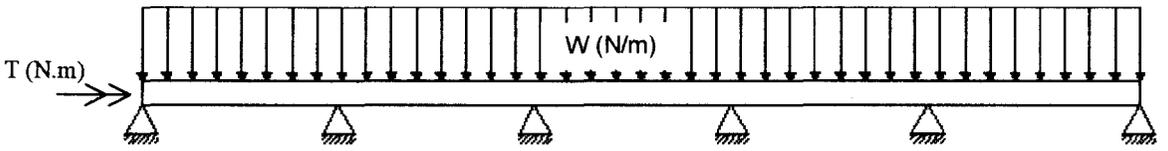


Diagrama de cortante



Diagrama de Momentos



Figura 24. - Diagrama de Fuerzas para Eje Principal

Si observamos el diagrama de momento, nos damos cuenta que el momento máximo ocurre en el primer apoyo. Por lo tanto, este será nuestro punto crítico.

Determinación del diámetro del eje

Con los datos anteriores, y utilizando la teoría de fallas conocidas, determinaremos el diámetro mas adecuado para transmitir el movimiento.

La **teoría del esfuerzo cortante máximo**, en el caso de flexión y torsión combinadas se puede expresar:

$$\sigma' = (\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2)^{\frac{1}{2}}$$

Esfuerzos de flexión (σ_x)

$$\sigma_x = \frac{M}{I/c} = \frac{M}{Z}$$

donde:

M: Momento máximo de flexión

Z: Modulo de sección (Ver Anexos)

Reemplazando los valores de M y Z para cada uno de los diámetros, se obtiene los siguientes resultados:

ϕ_{EJE}	M (N.m)	Z $\cdot 10^{-6}$ (m ³)	σ_x (MN/m ²)
3"	4774	36,5	131
4"	6199	70	88,6
5"	7739	122	63,7
6"	9331	201	46,5

Esfuerzos de Torsión (τ_{xy})

Los ejes de los floculadores están sometidos a cargas de torsión, debido a la fuerza que ejercen sobre los floculadores la masa de agua en movimiento.

El esfuerzo de torsión puede ser expresado:

$$\tau_{xy} = \frac{Tc}{J}$$

donde:

T: Momento torsionante

c: radio de la superficie exterior

J: Momento polar de inercia del área transversal

El momento torsionante T se calcula a partir:

$$T = \frac{P}{w\left(\frac{2\pi}{60}\right)}$$

donde:

P: Potencia (Watts)

w: velocidad angular (RPM)

El caso mas critico que se podría presentar en nuestro sistema, es la acumulación de lodos en fondo del tanque. La fuerza que debemos vencer es la fuerza de arrastre que ejerce el lodo sobre las paletas.

Por lo tanto, se debe calcular la potencia disipada, como si en lugar de trabajar con agua, trabajamos con lodo. La densidad relativa del lodo varía entre 1.5 a 1.8. Una buena elección sería 1.5.

De la Fórmula (3.4) se tiene que:

$$P = 52.3 * Cd * \rho * n^3 \frac{\sum A * r^3}{V} \quad (3.4)$$

donde,

Cd= 1.4 (Tabla 3.1)

$\rho = 1500 \text{ Kg/m}^3$

$V = 546.7 \text{ m}^3$

$\sum A * r^3 = 12.7 \text{ m}^5$

Reemplazamos en 3.1 y nos queda la potencia unitaria en función de n^3 :

$$P = 52.3 * 1.4 * 1500 * n^3 \frac{(12.7) \times 5 \text{ juegos} - \text{paletas}}{546.7}$$

$$P = 12757n^3$$

Tabla de Resultados

	Velocidad de Rotación (RPM)	Potencia Total Disipada (Watt)	Momento Torsionate (N.m)
Cámara I	3.4	1267	3560
Cámara II	2.8	709	2418
Cámara III	2.2	343	1490

El momento torsionate máximo al eje se produce en la cámara I, por lo tanto, trabajaremos con este valor.

Los esfuerzos cortantes serán:

ϕ_{EJE}	T (N.m)	J .10⁻⁸ (m³)	τ_{xy} (MN/m²)
3"	3560	3,24	48.8
4"		8,00	25.4
5"		17,17	14.6
6"		33,78	8.9

Con estos resultados obtenemos el esfuerzo de Von Misses. Los resultados son:

ϕ_{EJE}	σ_x (MN/m ²)	τ_{xy} (MN/m ²)	σ (MN/m ²)
3"	131	48.8	143
4"	88,6	25.4	93.5
5"	63,7	14.6	66.1
6"	46,5	8.9	47.6

La teoría del esfuerzo cortante máximo anticipa que la resistencia de fluencia en cortante será $S_{SY} = 0.5 S_Y$, donde S_Y representa el esfuerzo de fluencia del material.

El factor de seguridad n es igual:

$$n = \frac{S_{SY}}{\sigma'}$$

Propiedades de Algunos Aceros Comerciales

Denominación SAE / AISI	Resistencia a la Fluencia S_Y (MN/m ²)	S_{SY} (MN/m ²)
1010	300	150
1015	320	160
1018	340	170
1020	390	195
1035	462	231
1040	490	245
1050	580	290

Cálculo del Factor de seguridad

		Aceros Comerciales		
		1818	1020	1035
Factor de Seguridad	n (3")	1,09	1,25	1,48
	n (4")	1,72	1,97	2,34
	n (5")	2,48	2,84	3,37
	n (6")	3,47	3,98	4,72

Una buena alternativa, es un tubería de **SAE 1018 de 4" de diámetro**. Por simplicidad, los ejes de los otras dos cámaras, serán los mismos.

Dentro del análisis anterior no hemos considerado una falla del sistema por corrosión. Asumimos que el material está debidamente protegido.

Brazos de los floculadores

Para calcular la sección de los brazos que sostienen a las paletas, debemos considerar al igual que en el cálculo anterior, el caso mas crítico, es decir, suponer que se está trabajando con lodo.

Tomamos el valor de la Potencia mas alto, en este caso será el de la primera cámara , y con la velocidad periférica calculamos la fuerza que se ejerce sobre el extremo del brazo.

	Velocidad de Rotación (RPM)	Velocidad Periférica (m/seg)	Potencia Total Disipada (Watt)
Cámara I	3.4	0.65	1267
Cámara II	2.8	0.53	709
Cámara III	2.2	0.41	343

Sabemos que:

$$P = F \times V$$

donde:

$$V = (1 - K) V_p$$

Despejamos F, y reemplazamos los valores

$$F = 1267 / (0.75 \times 0.65)$$

$$F = 2600 \text{ N}$$

Asumimos que la viga está en cantiliber. La fuerza resultante F_r es igual a la mitad de la fuerza total, debido a que existen dos brazos que soportan la carga.

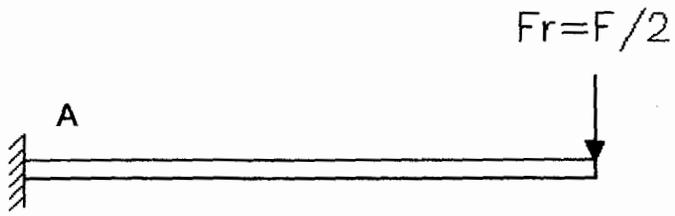


Diagrama de Cortante

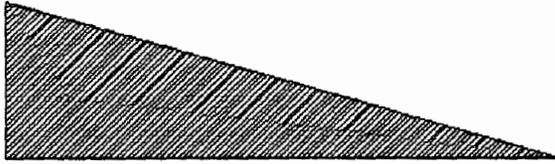


Diagrama de Momento

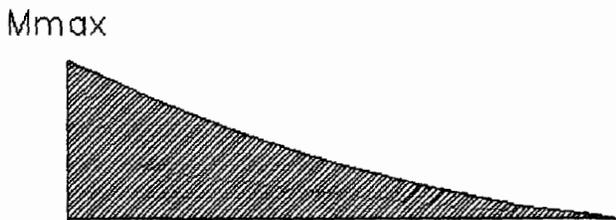


Figura 25. - Diagrama de Fuerzas para Brazos

El punto donde ocurre el momento máximo es en A. Por lo tanto, este es nuestro punto crítico.

$$M = Fr \times L$$

$$M = (2600 / 2) \times 1.84$$

$$M = 2392 \text{ N.m}$$

El esfuerzo admisible σ_w para flexión está entre $0.75 S_Y \geq \sigma_w \geq 0.6 S_Y$.

Seleccionamos un acero **SAE 1018**. Por lo tanto:

$$\sigma_w = 0.7 (340 \times 10^6)$$

$$\sigma_w = 238 \times 10^6.$$

De la fórmula del esfuerzo máximo de flexión, tenemos que

$$\sigma_w = M / Z$$

Despejamos Z, y reemplazamos los valores

$$Z = M / \sigma_w$$

$$Z = 2392 / (238 \times 10^6)$$

$$Z = 10.05 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$$

Con este resultado, buscamos en la tabla del Anexo, y seleccionamos un perfil en L que cumpla esta condición.

El perfil mas adecuado es el 75 x 75 x 8. ($Z = 8.92 \times 10^3 \text{ mm}^3$)

Paletas de los floculadores

Las Paletas de los floculadores están sometidos a flexión, debido a la fuerza de arrastre del agua. Para calcular el espesor mínimo de las paletas, tomaremos como referencia el caso anterior, en el cual asumimos que el fluido a mover será lodo.

La fuerza F , será igual a 2600 N.

El punto donde ocurre el momento máximo es en los apoyos, por lo tanto este es nuestro punto crítico. Del análisis se tiene que:

$$M = 209 \text{ N.m}$$

El esfuerzo admisible σ_w para de la madera es de 8 MN/m^2 .

De la fórmula del esfuerzo máximo de flexión, tenemos que

$$\sigma_w = M / Z$$

Despejamos Z , y reemplazamos los valores

$$Z = M / \sigma_w$$

$$Z = 209 / (8 \times 10^6)$$

$$Z = 0.026 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

El módulo de sección (Z) para una sección rectangular es igual

a:

$$Z = b h^3 / 6$$

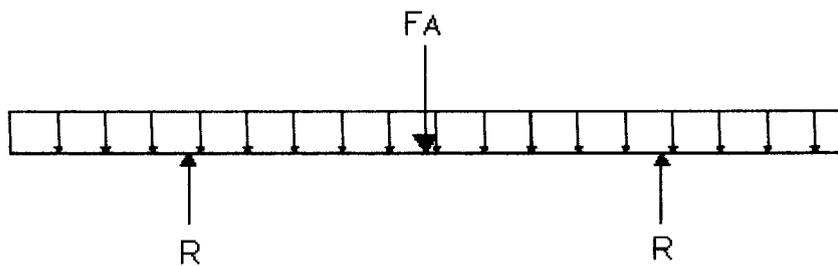


Diagrama de Cortante

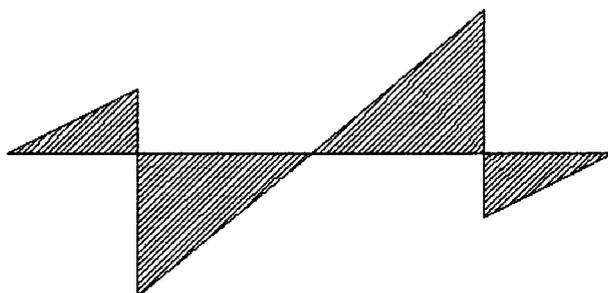


Diagrama de Momento

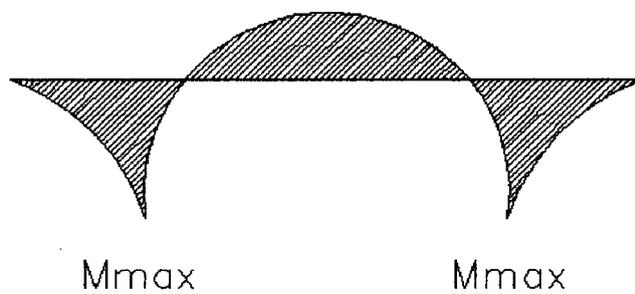


Fig. 26. - Diagrama de Fuerzas para Tablones

Despejando h y reemplazando valores se tiene que:

$$h = \sqrt[3]{\frac{6Z}{h}}$$

$$h = 8.8mm$$

Los tablonos de madera mas utilizados en estos procesos son los de Chanul, por su excelente resistencia al agua. Se los consigue comercialmente con un espesor de 1", por lo tanto, estamos seguros que soportaran la carga.

3.5 Protección contra la Corrosión

Selección del Sistema de Recubrimiento

Para escoger el sistema de se deben tener en cuenta varios factores, que en una forma u otra, determinan el sistema de recubrimiento que se debe usar.

Tales factores son:

- a. Medio ambiente reinante en el área
- b. Temperatura de los equipos
- c. Recursos para la preparación de la superficie y factores limitantes del mismo.
- d. Colores que se deben usar

- e. Costos
- f. Recubrimientos anteriores en los equipos y compatibilidad con el sistema que se desea usar.
- g. Naturaleza de la superficie a recubrir (acero, aluminio, concreto, madera, etc.)

Un estudio cuidadoso de los anteriores factores nos determina cual es el sistema mas apropiado.

Sistemas de Recubrimiento Metálicos

Sistema Epóxico

Usos:

El sistema mas sobresaliente para mantenimiento industrial por su excelente rigidez, adherencia, resistencia a los álcalis, a la humedad, a la inmersión temporal o permanente, a los ácidos minerales, a los solventes y buena resistencia a las temperaturas moderadamente altas.



Preparación de superficies: Limpieza con chorro abrasivo (Sand-Blasting) a metal blanco, es decir, eliminación total de toda la calamina, herrumbre, recubrimiento y productos extraños, visibles a simple vista.

Recubrimiento Base: Imprimante Epóxico Rojo, espesor de 4 mils.

Recubrimiento de barrera: Epóxico Interior de Tanques Blanco, 2 capas de 3 mils cada una.

IMPRIMANTE EPOXICO ROJO

DATOS TÉCNICOS

	Rojo
Color:	
Viscosidad:	85-95 unidades Krebs (25 °C)
Espesor de película seca recomendado:	88.9 a 101.6 micrones (3.5 a 4.0 mils)
%Sólidos / volumen	45
Pigmentos:	Oxido de hierro, baritas y silicatos
Humedad relativa máxima:	90%
Temperatura mínima de aplicación:	8°C
Temperatura máxima de soporte:	40°C
Resistencia químicas:	Álcalis Ácidos Petróleo Agua dulce / salada

EPOXICO INTERIOR DE TANQUES BLANCO**DATOS TÉCNICOS**

Color:	Blanco
Viscosidad:	85-90 unidades Krebs (25 °C)
Espesor de película seca recomendado:	88.9 a 101.6 micrones (3.5 a 4.0 mils)
%Sólidos / volumen:	50
Humedad relativa máxima:	90%
Temperatura mínima de aplicación:	8°C
	40°C
Temperatura máxima de soporte	

Resistencia químicas

Álcalis:	Excelente
Ácidos:	Bueno
Inmersión en agua dulce:	Excelente
Inmersión en agua salada:	Excelente
Derivados del petróleo:	Excelente
Gasolina motor, gasolina avión:	Excelente

Capítulo 4

4. SELECCIÓN DEL EQUIPO AUXILIAR

4.1 Selección del Sistema de Mezclado Rápido

En las plantas de tratamiento la mezcla rápida se puede realizar en dos formas:

- a. Con mezclado de flujo de pistón
- b. Con retromezcladores

En los primeros, la adición del coagulante se hace al pasar la masa de agua por un punto determinado, en el cual se produce una fuerte turbulencia inducida por un aparato hidráulico (orificio, vertedero, constricción, etc).

En los segundos, el agua queda retenida en una cámara especial por un tiempo de detención nominal V/Q de 10 a 120 segundos, en donde se

aplican los coagulantes, mientras se agita con una turbina o paleta rotatoria o cualquier otro sistema para crear turbulencia.

Para el desarrollo de este proyecto, vamos a utilizar los segundos, motivo por el cual, mencionaremos brevemente los mezcladores de flujo de pistón mas comunes, para luego describir y realizar los cálculos necesarios de los retromezcladores.

Mezcladores de flujo de pistón

a. Canaleta Parshall

La canaleta Parshall es la forma mas común de producir un salto hidráulico. Consiste en un segmento de canal con cambio rápido de pendientes y constricción en el punto llamado garganta. Al comienzo de ella pasa por una profundidad crítica y debido al cambio de pendiente se acelera hasta crear un régimen super crítico que se convierte en un salto hidráulico. *Ver Figura 27.*

b. Vertederos

Los vertederos pueden usarse tanto para medir el caudal como para producir la mezcla rápida debido a la turbulencia del resalto hidráulico que la lámina de agua produce en el punto de impacto. *Ver Figura 28.*

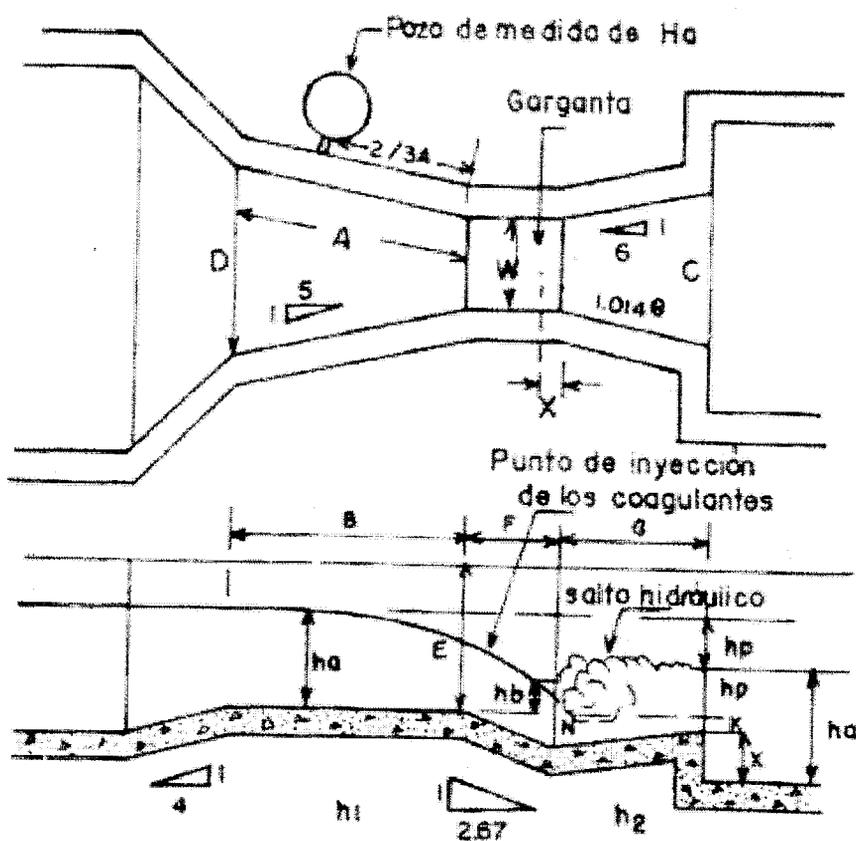


Fig. 27. – Canaleta Parshall

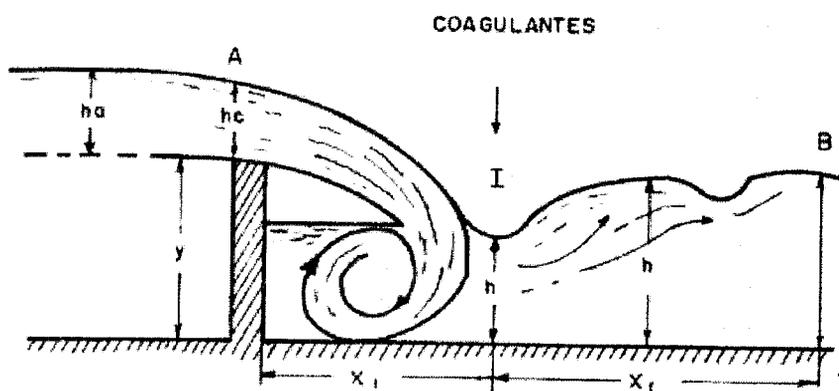


Fig. 28. – Vertedero

c. Dispersores

Los dispersores pueden producir una mezcla extremadamente rápida de los coagulantes y su uso está despertando un creciente interés.

Se basan en el empleo de múltiples puntos de aplicación. Habiendo uno solo, la solución de coagulante se difunde de acuerdo con la velocidad del flujo formando un ángulo con la pared del conducto. La mezcla con el agua solo viene a ser completa después de una distancia L . Si en cambio, se tienen varios puntos de aplicación, el fenómeno se sobrepone y la mezcla llega a ser uniforme a una distancia L mucho menor que en el caso anterior. Se deduce de aquí que entre mas puntos de aplicación se tengan, mas rápida es la dispersión. Ver *Figura 29*.

Retromezcladores

Los retromezcladores pueden ser hidráulicos o mecánicos. Se utilizan retromezcladores hidráulicos cuando se dispone de suficiente energía cinética en el flujo de entrada. La *Figura 30* muestra dos modelos.

Al(III)

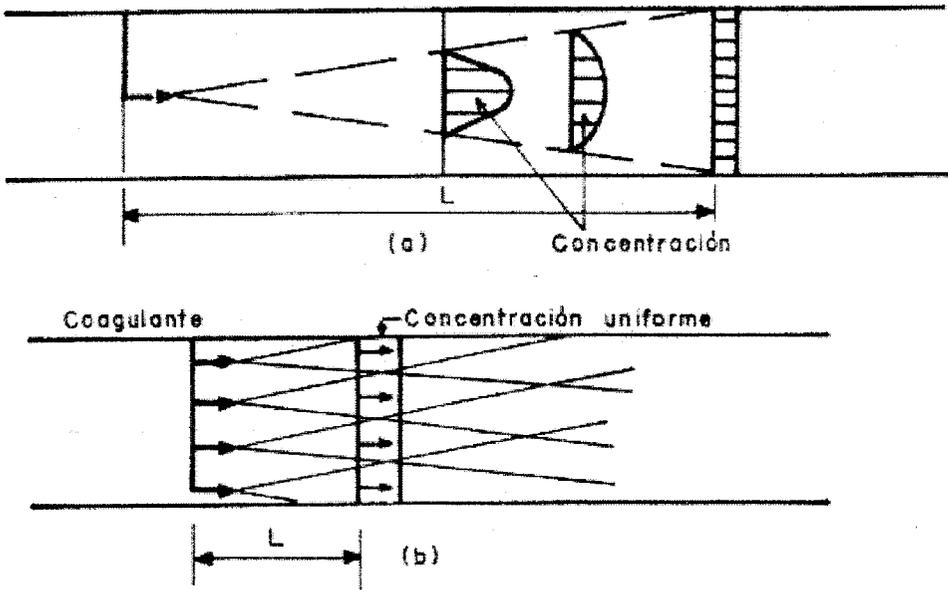


Figura 29. – Dispersores

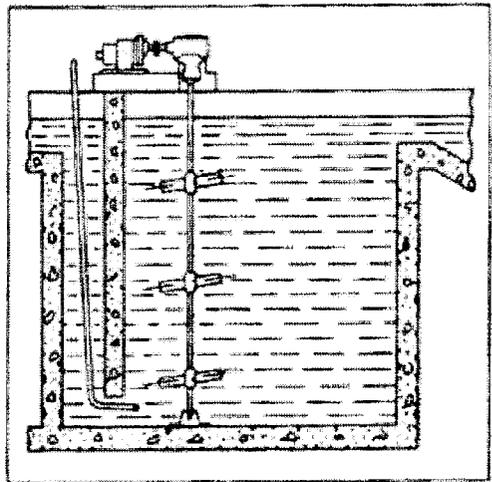
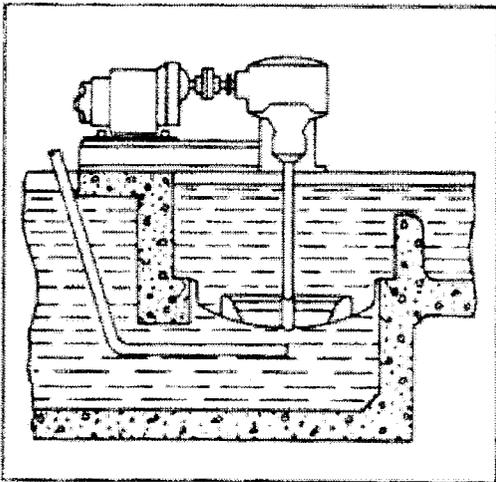


Figura 30. – Retromezcladores

Los retromezcladores mecánicos, usan paletas giratorias. Ver *Figura 30*.

Los períodos de retención nominal suelen hacerse de 10 – 60 seg, aunque mas frecuentemente entre 30 – 45 segundos.

Cinética de la Mezcla Rápida

Potencia Consumida

El gradiente de velocidad medio en un volumen dado de agua está dado por:

- La potencia transferida por el dispositivo de mezclado por unidad de volumen
- La viscosidad absoluta

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \quad (4.1)$$

donde,

P= potencia transferida (Watts)

V= volumen (m³)

μ = viscosidad absoluta (N.m/s²)

Una efectiva mezcla rápida requiere:

- G elevado (500 – 1000 seg^{-1})
- t_d bajo (10 – 60 seg)

La Potencia disipada se calcula a partir de la fórmula:

$$P = K_T * \rho * n^3 * D^5 \quad (4.2)$$

donde,

K_T constante adimensional para las paletas

ρ densidad del líquido a la temperatura de trabajo

N revoluciones por segundo

D diámetro de las paletas

Los valores de K_T están tabulados en la siguiente tabla

TABLA No. 4.1.- VALORES DE K PARA DIFERENTES ANCHOS DE TABIQUES DEFLECTORES

Turbina 6 Paletas					Turbina 2 Paletas	
N_R	W/D 0.17	W/D 0.10	W/D 0.10	W/D 0.04	N_R	W/D 0.10
100	3.5	3.5	3.6	3.6	100	0.95
1.000	4.8	4.3	3.4	3.9	1.000	1.6
>10.000	6.9	6.0	4.6	4.05	>10.000	1.8

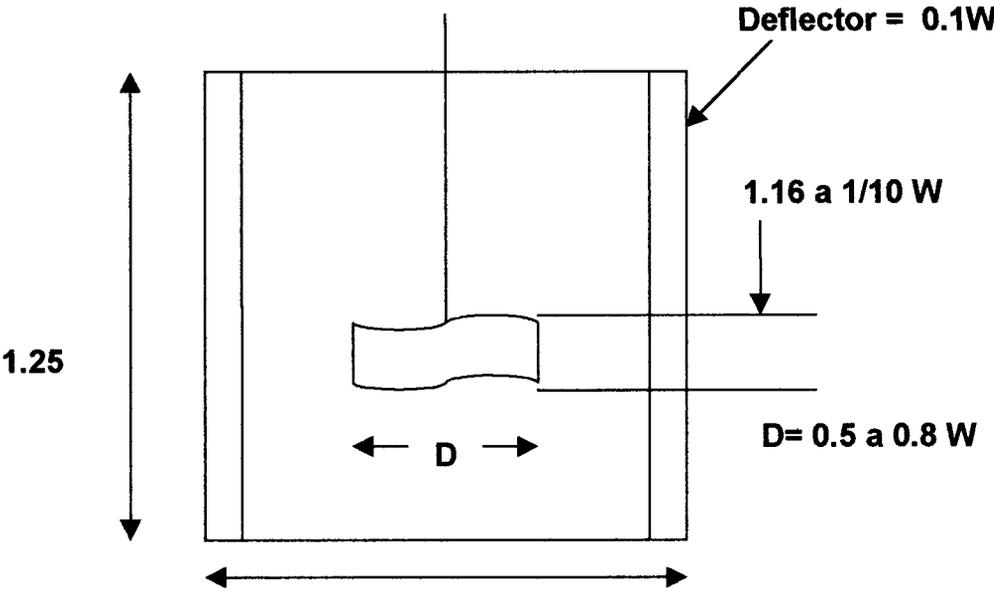


Figura 31.- Diagrama del Mezclador Rápido

Procedimientos de Cálculos:

1. Especificar Caudal de diseño
2. Seleccionar el tiempo de detención t_d (10 – 30 s)
3. Seleccionar el G apropiado (700 – 1000 s^{-1})
4. Seleccionar la velocidad de rotación de las paletas
5. Determinar las dimensiones de la cámara, la potencia requerida y el diámetro D
6. Chequear el Número de Reynolds.
7. Determinar la Potencia de motor

Cálculo de la Potencia del Sistema de Mezcla Rápida

1. *Especificamos el caudal de diseño.*

$$Q_T = 300.000 \text{ m}^3/\text{dia} \text{ (208.3 m}^3/\text{min)}$$

$$Q = \frac{Q_T}{4} = \frac{138.9}{4}$$

$$Q = 34.73 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

2. *Seleccionamos el tiempo de detención y el G*

$$t_d = 10 \text{ seg} , \quad G = 700 \text{ seg}^{-1}$$

3. *Calcular el volumen del tanque de mezcla.*

$$V = Q \times t_d$$

$$V = (52.1 \text{ m}^3/\text{min} \div 60) \times 10$$

$$V = 8.68 \text{ m}^3$$

4. *Escogemos un diseño del tanque: circular o cuadrado*

Seleccionamos un tanque cuadrado con las siguientes dimensiones:

$$W = 2 \text{ m}$$

$$\text{Área del tanque} = 2 \times 2 = 4 \text{ m}^2$$

$$\text{Profundidad útil} = \text{Volumen} / \text{Área} = 8.68 / 4 = 2.17$$

$$\text{Profundidad útil} = 2.17 \text{ m}$$

5. *Calculamos la Potencia disipada usando la formula 4.1*

$$P = G^2 * \mu * V$$

$$P = 700^2 * 9.69 \times 10^{-4} * 8.68$$

$$P = 4121 \text{ Watts}$$

6. *Calcular el D de las paletas, y comprobar con el número de Reynolds*

Antes de emplear la Fórmula 4.2, debemos determinar el número de paletas y la velocidad de rotación en base al siguiente criterio:

- 30 - 150 RPM (típico 100 RPM) turbinas y paletas
- 400 – 1750 RPM (típico 1000 RPM) para propelas

El número paletas seleccionado será de 2, y la velocidad de rotación 100 RPM.

$K_T = 1.6$ (Tabla 4.2)

Despejando D y reemplazando se tiene lo siguiente:

$$D = \sqrt[5]{\frac{P}{K_T * \rho * n^3}}$$

$$D = \sqrt[5]{\frac{4121.3}{1.6 * 1024 * 1.67^3}}$$

$$D = 0.88m$$

Verificamos el Número de Reynolds

$$N_R = \frac{N * D^2 * \rho}{\mu}$$

$$N_R = \frac{1.67 * 0.88^2 * 1024}{9.69 \times 10^{-4}}$$

$$N_R = 1.36 \times 10^6$$

$N_R > 10.0000$, por lo tanto cumplimos con la condición.

7. *Determinamos la Potencia del Motor*

Las pérdidas representan un 25%. Por lo tanto, la potencia al eje será:

$$Peje = \frac{P_{disipda}}{0.75}$$

$$Peje = \frac{4121.3}{0.75} = 5495 \text{ Watt}$$

La potencia del motor será 5.5 Kw (7.4 HP).

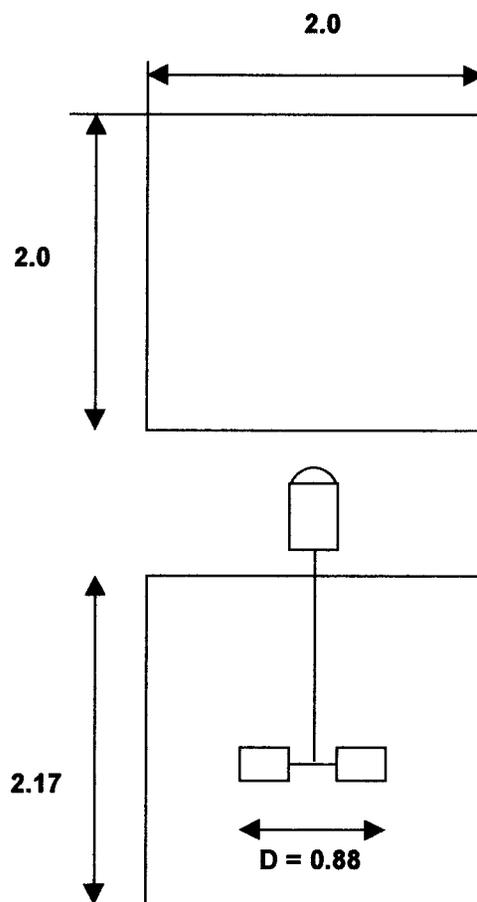


Figura 32.- Diseño del Mezclador Rápido

4.2 Selección de Materiales para Tabiques

Las cámaras de floculación, están separados unas de otras, por medio de muros perforados, que puede ser de madera o de concreto. El material que se utilice para su construcción depende del criterio del diseñador, así como de factores económicos y de durabilidad del material.

En ambos casos se debe tomar en cuenta los siguientes criterios para su diseño:

- La velocidad de los orificios que sirven de conexión en cada cámara debe permitir velocidades de 0.20 a 0.30 m/s., para impedir que se presenten corrientes en sentido opuesto al avance del flujo y se intermezclen las masas de agua de las cámaras.
- Cuando se usan tabiques de madera, se suelen hacer estos dobles, dejando un espacio libre entre las tablas, el cual varía entre 0.8 y 2.5 cm. según la velocidad que se desee mantener.

La manera mas común de ubicar estos orificios es hacerlos de manera uniforme a través de las paredes, en forma rectangular o circular, aunque algunos diseñadores prefieren colocarlos en la parte inferior de las paredes.

Para los sistema de floculación mecánicos se utilizan tabiques de madera, y una pared de hormigón entre la última cámara y los sedimentadores.

De los criterios de diseño, seleccionamos una velocidad de paso de agua entre cámaras, en este caso podemos asumir 0.25 m/s. De la fórmula de caudal se tiene que:

$$Q = V * A$$

Despejamos A (área transversal), y reemplazamos los valores:

$$A = Q / V$$

$$A = (0.87 \text{ m}^3/\text{s}) / 0.25 \text{ m/s}$$

$$A = 4.35 \text{ m}^2$$

Si hacemos 4 ductos de 4 m de ancho cada uno, tenemos que:

$$h = A / L$$

$$h = 4.35 / 16$$

$$h = 0.272 \text{ m}$$

Por lo tanto, las dimensiones del los orificios en el fondo del tanque para los tabiques de madera, serán 4 ductos de 4 x 0.27 m.

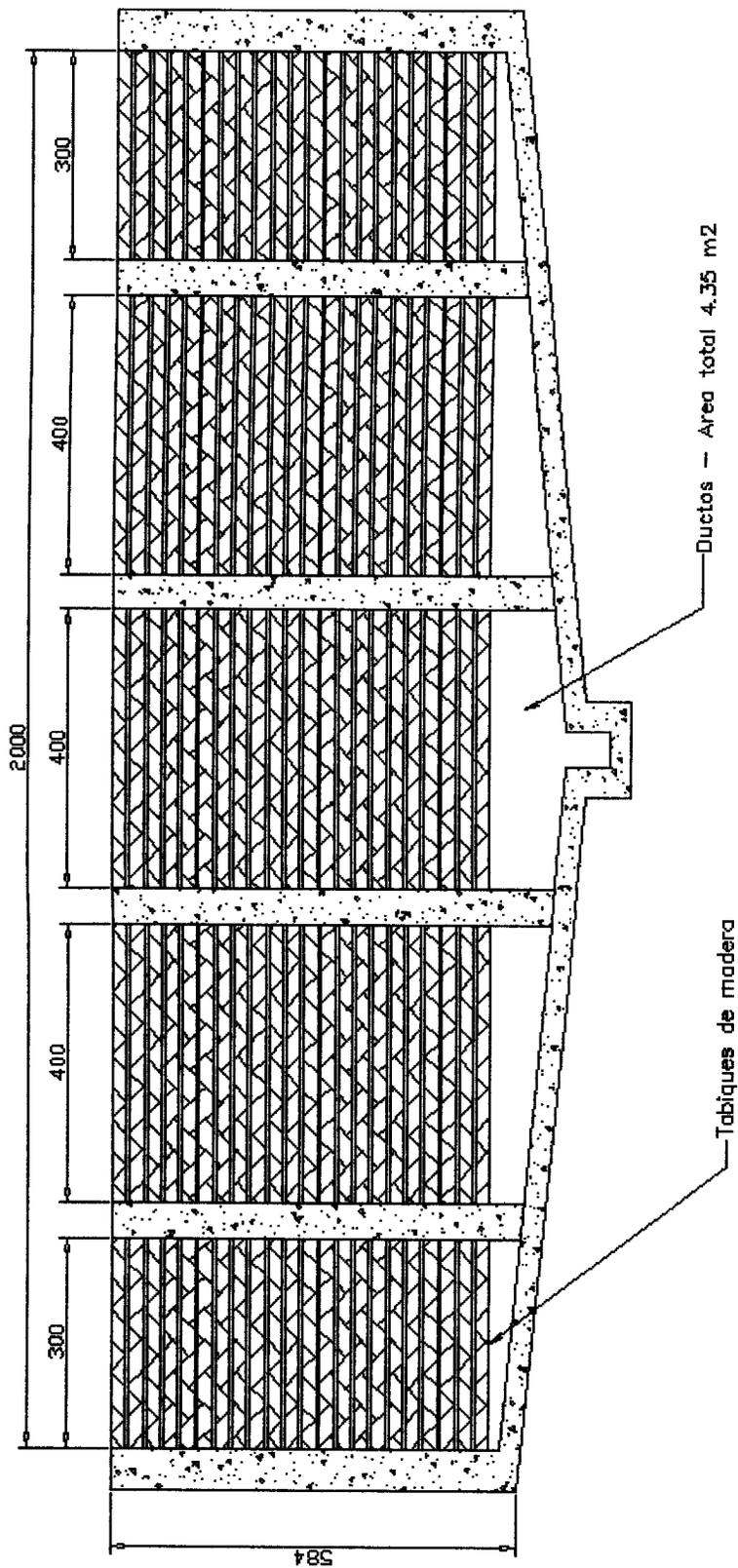


Figura 33.- Tabiques de madera con ductos para paso del agua entre las piletas de floculación

El paso entre floculadores y sedimentadores, se hacen generalmente rectangulares de 0.1 m x 1 m, distribuidos a lo largo de la pared.

El número de orificios se calcula a partir del área total requerida:

$$A_T = N A_{\text{orificio}}$$

$$N = A_T / A_{\text{orificio}}$$

$$N = 3.48 / (0.1 \times 1)$$

$$N = 34.8$$

Se requieren 35 orificios para mantener la velocidad deseada.

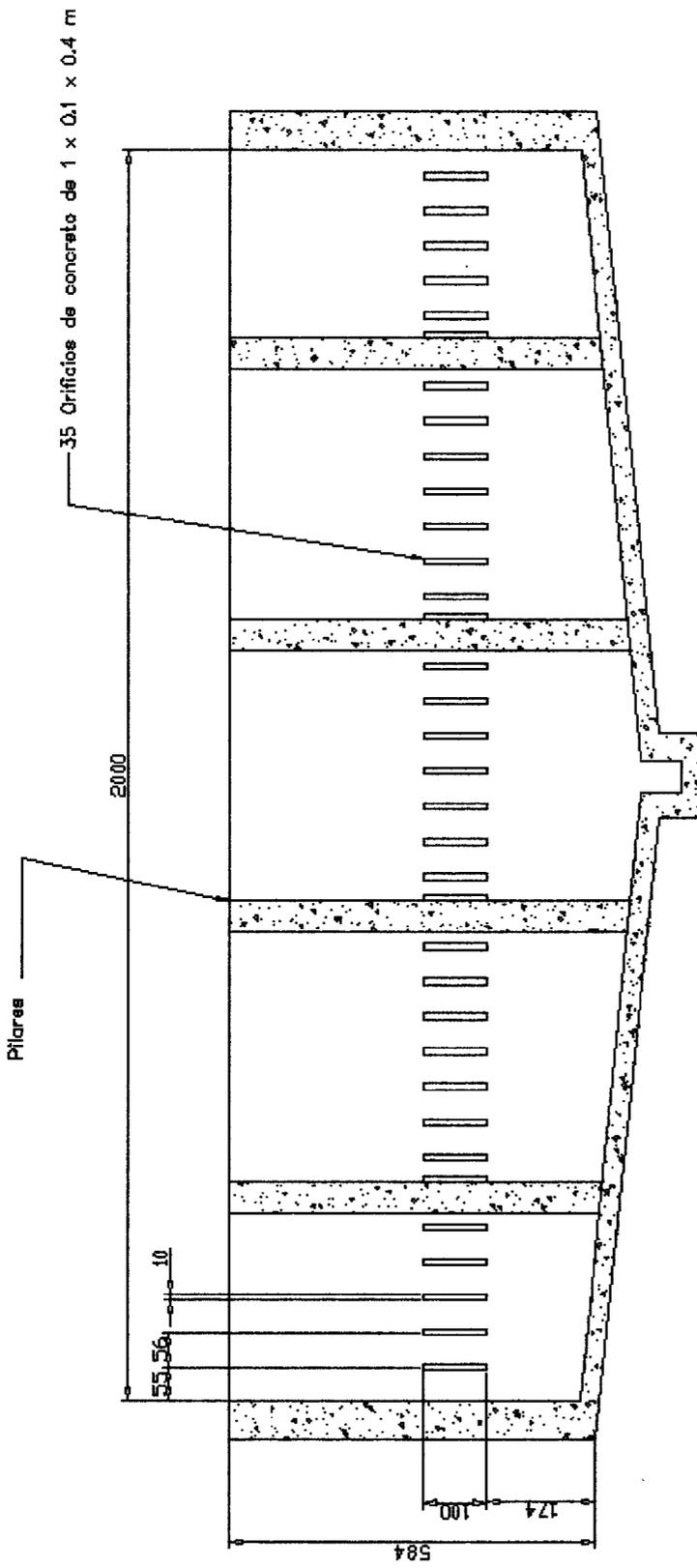


Figura 34.- Orificios de concreto entre la última cámara de floculación y el sedimentador

Capítulo 5

5. ANALISIS DE COSTOS

En este capítulo solamente se analizarán los costos de los materiales y equipos necesarios, el costo de construcción y montaje del sistema de floculación.

Los valores que se dan en las tablas son los obtenidos durante el desarrollo de este proyecto, sin embargo, deberán ser actualizados a un incremento estimado del 2% anual.

Se considera para el análisis, una oferta hecha por una empresa extranjera para la construcción de estos floculadores.

Como podemos apreciar en las tablas, el costo de los sistemas de floculación Es elevado, por lo tanto, se debe tener mucho criterio al momento de hacer las adquisiciones de estos equipos.

El costo de fabricación de estos equipos a nivel local resultan mucho mas convenientes que si son importados, a pesar de usar materiales similares. Además, el valor que oferta la compañía extranjera no incluye gastos de transporte al país, y otros rubros como la desaduanización y transporte al sitio, lo que finalmente aumentaría el costo final de los equipos.

El uso de materiales alternativos, como el acero inoxidable, encarecería el costo de los equipos, por lo que no han sido considerados en este trabajo.

**TABLA 5.1.- COSTO DE MATERIALES UTILIZADOS PARA LA
CONSTRUCCION DE LOS FLOCULADORES**

Cant.	Unidad	Características	Costo Unitario US\$	Costo Total US\$
240	m	Tubos de 4" SAE 1018 Ced. 80	17,90	4.296
480	m	Ángulos SAE 1018 75 x 75 x 8 mm.	8,33	3.998,4
120	U	Bridas de 4" Clase 150	11,95	1.434
960	U	Pernos M13 x 1.5 x 30 con tuerca galvanizados	0,45	432
352	U	Pernos M16 x 1.5 x 105 con tuerca galvanizados	1,12	394,24
352	U	Pernos M13 x 1.5 x 40 con tuerca galvanizados	0,65	288,8
6	U	Planchas de Acero A36 - 3,14 X 1,22 mts. 5 mm. de espesor.	63,25	379,5
360	U	Tablones de chanul	15	5.400
18	Gal.	Pintura Epóxica Rojo	27,8	500,4
24	Gal.	Pintura Blanco para Tanque	32,8	787,2
TOTAL:				17.911,00

**TABLA 5.2.- COSTO DE EQUIPOS Y MAQUINAS UTILIZADOS EN LA
CONSTRUCCION DE LOS FLOCULADORES**

Cant.	Unidad	Características	Costo Unitario US\$	Costo Total US\$
96	U	Chumaceras desarmable SKF- 6222	225,02	21.601,92
4	U	Piñones REX No. 180B17	283	1.132
4	U	Piñones REX No. 180B32	592	2.368
4	U	Piñones REX No. 160B15	114	456
4	U	Piñones REX No. 160B30	327	1.308
4	U	Piñones REX No. 140B11	83	332
4	U	Piñones REX No. 140B32	234	936
120	m	Cadena REX No. 180	342,7	41.124
128	m	Cadena REX No. 160	166,76	21.345,28
116	m	Cadena REX No. 140	148,48	17.223,68
4	U	Motor reductor Leroy Somer, 5.5 KW, 4 polos, velocidad de salida de 6 RPM, con variador de velocidad mecánico	3.035,29	12.141,16
4	U	Motor reductor Leroy Somer, 4 KW, 4 polos, velocidad de salida de 6 RPM, con variador de velocidad mecánico	2.040	8.160
4	U	Motor reductor Leroy Somer, 1.5KW, 4 polos, velocidad de salida de 6 RPM, con variador de velocidad mecánico	1.515	6.060
TOTAL:			134.188,04	

**TABLA 5.3.- COSTO DE MANO DE OBRA EMPLEADA EN LA
CONSTRUCCION DE LOS FLOCULADORES**

Cant.	Descripción del Trabajo	Costo Unitario US\$	Costo Total US\$
60	Construcción de tramos de eje con tubos de 4" ced. 80, con bridas soldadas en sus extremos, con 4 escuadras en cada extremo	310	8,600
120	Construcción de soportes para ángulos, soldados al eje principal, con perforaciones para pernos	16	1,920
120	Maquinado de pistas para asientos de portacojinetes de las chumaceras	28	3,360
120	Construcción de ángulos para soporte de tablonés , con sus respectivos agujeros	10	1,200
240 m ²	Pintado de elementos con pintura epóxica, tres manos, una base y dos de acabado	2	480
12	Construcción de tramos de ejes para sistema de transmisión	32	384
4	Montaje de Elementos y Equipos en sitio, que comprende las piletas de floculación y sistema de transmisión	2.285	9,140
TOTAL:			35,084

**TABLA 5.4.- ANALISIS TOTAL DE COSTOS DE LA CONSTRUCCION
DE LOS FLOCULADORES**

COSTOS	US\$
Costos de materiales	17.911,00
Costo de equipos y maquinas	134.188,04
Costo de mano de obra y montaje	35.084
Transporte al sitio	2.300
Imprevistos (5%)	9.474,15
TOTAL	198.957,19

TABLA 5.5.- COTIZACION POR LA CONSTRUCCION DE FLOCULADORES PARA LA PLANTA LA TOMA.

Nombre de la empresa:	Jim Myers & Sons Inc.
Lugar de procedencia:	USA
Fecha de cotización:	Noviembre, 2000

CANT.	DESCRIPCION	COSTO US \$
4	<p>Sistemas de floculación Horizontal de Paletas, de 3 etapas:</p> <p>ETAPA I de 45 s^{-1}, 3 fps velocidad periférica con motor de 4 HP</p> <p>ETAPA II de 30 s^{-1}, 2.5 fps velocidad periférica, con motor de $2\frac{1}{2}$ HP</p> <p>ETAPA III de 20 s^{-1}, 2 fps velocidad periférica, con motor de 1 HP</p> <p>Tuberías y accesorios con recubrimiento metálico</p> <p>Incluyen además juego de cadenas y catalinas, tramos de ejes principales, bridas, chumaceras, paletas de fibra de vidrio y pernos.</p>	279.860,00
TOTAL:		279.860,00

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de realizar este trabajo se puede concluir lo siguiente:

1. Un sistema de floculación mal dimensionado, podría ocasionar problemas tales como rompimiento del floc antes de que estos lleguen a los sedimentadores, acortando la carrera de los filtros, que deberán ser lavados con mayor frecuencia, producir agua con mala calidad, etc.
2. Los motores de los sistemas de floculación que se encuentran actualmente en la Planta La Toma , están mal seleccionados, ya que éstos son de 3.5 HP, y transmiten el movimiento a los ejes principales mediante un sistema piñón cadena centralizado.
3. El sistema de evacuación de lodos en las cámaras de floculación presenta un problema de acumulación de lodos. Esto ha ocasionado roturas de ejes principales, En el nuevo sistema de floculación considera este inconveniente. El diámetro del los ejes actuales son de de 3". Se propone utilizar ejes de 4", para mayor seguridad.
4. El tiempo de vida de estos sistemas esta proyectado para 30 años, además el costo de los mismos es alto, por lo tanto, se deberá tener mucho cuidado al momento de la contrataciones, para evitar que en el futuro se presenten los problemas como roturas de ejes, pérdidas de eficiencia del proceso debido principalmente al rompimiento de los flóculos, ocasionado por la velocidad incorrecta a la que giran las paletas, etc.

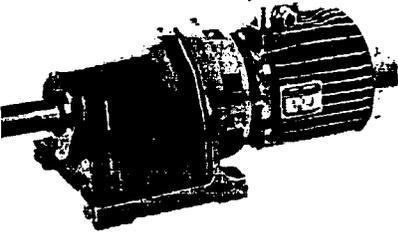


Al concluir este proyecto, he encontrado que en la planta “La Toma” existen muchas fallas en el sistema, que deben tomarse en cuenta al momento de la contratación de los trabajos de rehabilitación, y que a continuación hago mención:

1. Se recomienda adoptar un sistema de transmisión de potencia individual para cada eje de los Floculadores, para evitar la paralización completa del sistema en caso de falla del equipo, o por mantenimiento. Además se recomienda la implementación de un variador de velocidades acoplado a cada motor.
2. Se recomienda aumentar el diámetro del eje principal a uno de 4”.
3. Se recomienda revisar el sistema de evacuación de lodos, ya que esto ocasiona que los equipos trabajen sobrecargados, provocando una pérdida de eficiencia en el proceso.

APENDICES

Electromechanical products: Planibloc



General remarks

The Planibloc geared motors with planetary gear train adapt the electric motor speed to the driven machine speed.

They depend on the motor power (P) in kW and on the required speed (n) in min^{-1} . The main characteristic of the gearbox is the torque (M) in N.m.

$$M = \frac{P \times 9550}{n}$$

Reduction $i: i = n_{\text{motor}} / n_{\text{gearbox}}$

Presentation

Cast iron monobloc housing (base or flange).

Output shaft made in high resistance alloy steel.

Performances

Six sizes in the range: 1000 - 2000 - 3000 - 4000 - 4000T - 5000.

Selection based on 2 classes of operation.

From 1 to 4 stages of reduction for each size, example: 3000 - 3200 - 3210 - 3211.

Two types of housing: N (normal) and R (reinforced).

Output torque to 18000 N.m, numerous reduction ratios from 2,8 to 990.

High capacity for overload.
High efficiency from 0,88 to 0,96.
Can be used in reverse.

Exceptional adaptability

Integrated mounting.
No adapter flange required.
Wide diversity of mountings.

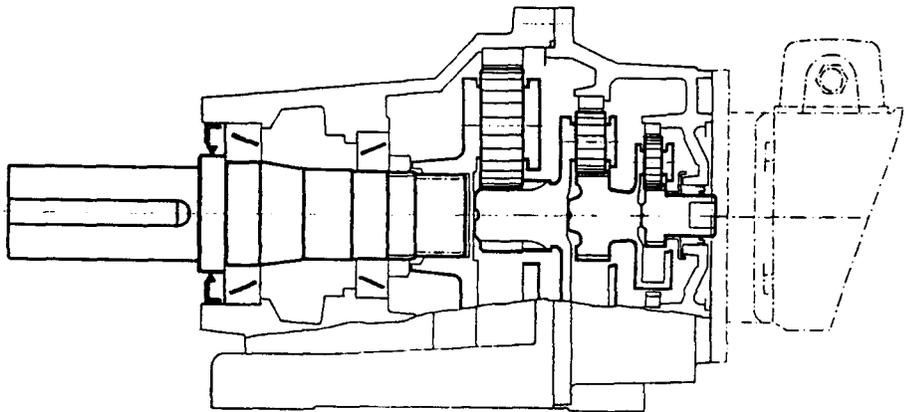
Reliability, maintenance

Separate functions of the motor and the gearbox.
Stacking of the gear trains which allows an easy changing of reduction or replacing of an element.

Operating time

For the selection of the geared motors according to speed and power, the operating class is taken into account. The operating class is quoted at the top of the selection table and is defined in the table below.

Planibloc geared motors are designed to operate in class 2 without derating. For harder duties, they must be derated according to the selection table in class 3.



Classes of operation

Class 2

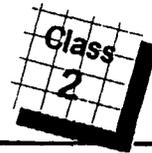
Operation with damped shock loads 10 h per day (or daily operation without shock loads, few starts 24 h/day)

Class 3

Operation with heavy shock loads and numerous starts 10 h per day (or operation with damped shock loads 24 h/day)

Electromechanical products: Planibloc

Selection table: Planibloc + motors or FCO-FCL brake motors, IP 54 or IP 55, insulation class B or F, three-phase 50 Hz, 220-380 V or 415 V
Integral and "U" mountings



Motor LS 4 poles (1450 min⁻¹) kW/frame size

Output speed min ⁻¹	Reduction ratio	Power kW																							
		0,25	0,37	0,55	0,75	0,9	1,1	1,5	1,8	2,2	3	4	5,5	7,5	9	11	15	18,5	22	30	37	45	55	75	90
		Type of threephase LS motor frame size																							
		71	80	90	100	112	132	160	180	200	225	250	280												
1,52	990																								
1,98	780																								
2,36	635																								
3,1	485																								
3,6	420																								
4,1	373																								
4,3	350																								
4,8	312	2111 N	3211 N	4321 N				5432 N																	
5,2	285						4321 T																		
5,7	260																								
6	240																								
7,2	206	1111 N																							
8,5	176																								
11	135																								
13	113						3210 N																		
15	97							4320 N																	
17	87								4320 T																
20	75	1110 N		2110 N									5430 N												
22	66																								
26	57																								
32	46																								
37	40																								
43	34																								
47	31,5																								
62	24						2100 N																		
74	20																	4300 N							
85	17,7																								
97	15,5	1100 N																							
12	13,3																								
15	13						1100 R																		
34	11,2																								
56	9,6																								
95	7,7																								
67	5,6													*	*			*	*	*					
48	4,3												*	*	*	*		*	*	*					
16	3,6	1000 N					1000 R						*	*	*2000 R		3000 R	*	*	*				4000 R	
83	3,1												*	*	*	*		*	*	*					
42	2,8												*	*	*	*		*	*	*					4000 T

Motor frame size > gearbox frame size.

"U" mounting

motors LS 4 poles

FCL*	Power kW																				
	0,25	0,37	0,55	0,75	0,9	1,1	1,5	1,8	2,2	3	4	5,5	7,5	9	11	15	18,5	22	30	37	45
	Type of threephase LS motor frame size																				
	71	80	90	100	112	132	160	180													
	71	80	90																		
	71	80	90	100	112	132	160	180	200	225											

from 5,5 to 18,5 kW.

Example of selection 1:

Power: 1,1 kW
 Speed: 37 min⁻¹
 Mounting and position: foot-mounted horizontal
 Designation: PI 1110 N S B3 40 I 4 P LS 90 1,1 kW

Example of selection 2:

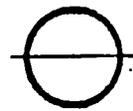
Power: 9 kW
 Speed: 47 min⁻¹
 Mounting and position: flange horizontal
 Brake: adjustable failsafe brake
 Designation: PI 3200 N BS B5 31,5 I 4 P LS 132 FCL 9 kW

DENSITY AND VISCOSITY OF FRESH WATER AND SEAWATER AT A PRESSURE OF 1 ATM AND A RANGE OF TEMPERATURES

TEMPERATURE (°C)	FRESH WATER			SEAWATER, S=35 ppt		
	DENSITY (ρ)g/cm ³	DYNAMIC VISCOSITY (μ) gm/(cm sec)	KINEMATIC VISCOSITY (ν) cm ² /sec	DENSITY (ρ) g/cm ³	DYNAMIC VISCOSITY (μ) gm/(cm sec)	KINEMATIC VISCOSITY (ν) cm ² /sec
0	0.9998	1.52 x 10 ⁻²	1.52 x 10 ⁻²	1.0273	1.61 x 10 ⁻²	1.57 x 10 ⁻²
5	0.9997	1.42 x 10 ⁻²	1.42 x 10 ⁻²	1.0269	1.50 x 10 ⁻²	1.46 x 10 ⁻²
10	0.9997	1.31 x 10 ⁻²	1.31 x 10 ⁻²	1.0262	1.39 x 10 ⁻²	1.35 x 10 ⁻²
15	0.9991	1.14 x 10 ⁻²	1.14 x 10 ⁻²	1.0252	1.22 x 10 ⁻²	1.19 x 10 ⁻²
20	0.9982	1.01 x 10 ⁻²	1.01 x 10 ⁻²	1.0240	1.07 x 10 ⁻²	1.05 x 10 ⁻²
30	0.9957	0.80 x 10 ⁻²	0.80 x 10 ⁻²	1.0210	0.87 x 10 ⁻²	0.85 x 10 ⁻²

PIPE

Dimensions and properties



Dimensions				Weight per Ft lbs. Plan Eros	Properties					
Nominal Diameter in.	Outside Diameter in.	Inside Diameter in.	Wall Thickness in.		Area in. ²	I in. ⁴	S in. ³	r in.	J in. ⁴	Z in. ³
Standard Weight										
½	.840	.622	.109	.85	.250	.017	.041	.261	.034	.059
¾	1.050	.824	.113	1.13	.333	.037	.071	.334	.074	.100
1	1.315	1.049	.133	1.68	.494	.087	.133	.421	.175	.187
1¼	1.660	1.380	.140	2.27	.669	.195	.235	.540	.389	.324
1½	1.900	1.610	.145	2.72	.799	.310	.326	.623	.620	.448
2	2.375	2.067	.154	3.65	1.07	.666	.561	.787	1.33	.761
2½	2.875	2.469	.203	5.79	1.70	1.53	1.06	.947	3.06	1.45
3	3.500	3.068	.216	7.58	2.23	3.02	1.72	1.16	6.03	2.33
3½	4.000	3.548	.226	9.11	2.68	4.79	2.39	1.34	9.58	3.22
4	4.500	4.026	.237	10.79	3.17	7.23	3.21	1.51	14.5	4.31
5	5.563	5.047	.258	14.62	4.30	15.2	5.45	1.88	30.3	7.27
6	6.625	6.065	.280	18.97	5.58	28.1	8.50	2.25	56.3	11.2
8	8.625	7.981	.322	28.55	8.40	72.5	16.8	2.94	145	22.2
10	10.750	10.020	.365	40.48	11.9	161	29.9	3.67	321	39.4
12	12.750	12.000	.375	49.56	14.6	279	43.8	4.38	559	57.4
Extra Strong										
½	.840	.546	.147	1.09	.320	.020	.048	.250	.040	.072
¾	1.050	.742	.154	1.47	.433	.045	.085	.321	.090	.125
1	1.315	.957	.179	2.17	.639	.106	.161	.407	.211	.233
1¼	1.660	1.278	.191	3.00	.881	.242	.291	.524	.484	.414
1½	1.900	1.500	.200	3.63	1.07	.391	.412	.605	.782	.581
2	2.375	1.939	.218	5.02	1.48	.868	.731	.766	1.74	1.02
2½	2.875	2.323	.276	7.66	2.25	1.92	1.34	.924	3.85	1.87
3	3.500	2.900	.300	10.25	3.02	3.89	2.23	1.14	8.13	3.08
3½	4.000	3.364	.318	12.50	3.68	6.28	3.14	1.31	12.6	4.32
4	4.500	3.826	.337	14.98	4.41	9.61	4.27	1.48	19.2	5.85
5	5.563	4.813	.375	20.78	6.11	20.7	7.43	1.84	41.3	10.1
6	6.625	5.761	.432	28.57	8.40	40.5	12.2	2.19	81.0	16.6
8	8.625	7.625	.500	43.39	12.8	106	24.5	2.88	211	33.0
10	10.750	9.750	.500	54.74	16.1	212	39.4	3.63	424	52.6
12	12.750	11.750	.500	65.42	19.2	362	56.7	4.33	723	75.1
Double-Extra Strong										
2	2.375	1.503	.436	9.03	2.66	1.31	1.10	.703	2.62	1.67
2½	2.875	1.771	.552	13.69	4.03	2.87	2.00	.844	5.74	3.04
3	3.500	2.300	.600	18.58	5.47	5.99	3.42	1.05	12.0	5.12
4	4.500	3.152	.674	27.54	8.10	15.3	6.79	1.37	30.6	9.97
5	5.563	4.063	.750	38.16	11.3	33.6	12.1	1.72	67.3	17.5
6	6.625	4.897	.864	53.16	15.6	66.3	20.0	2.06	133	28.9
8	8.625	6.875	.875	72.42	21.3	162	37.6	2.76	324	52.8

The listed sections are available in conformance with ASTM Specification A53 Gr. B or A501. Other sections are made to these specifications. Consult with pipe manufacturers or distributors for availability.

TABLA B-11. (Continuación)

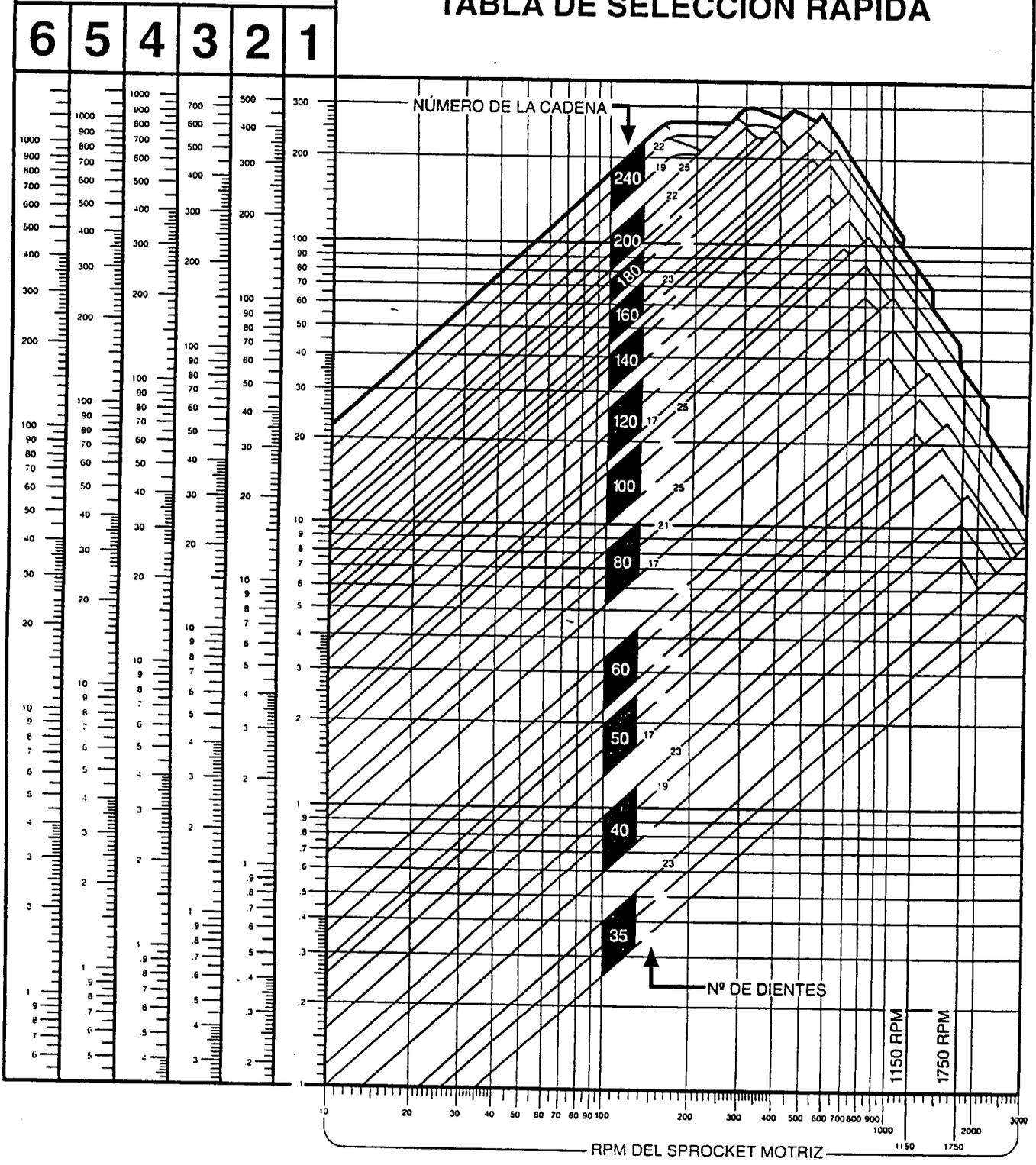
Perfil L	Dimensiones en mm		Área cm ²	Masa (peso) kg/m	τ cm	Referido al eje							
	h	e				X - X = Y - Y			m - m		I _n cm ⁴	Z _n cm ³	k _n cm
						I _x = I _y cm ⁴	Z _x = Z _y cm ³	k _x = k _y cm	I _m cm ⁴	k _m cm			
50-50-5		5	4.80	3.77	1.40	11.0	3.05	1.51	17.4	1.90	4.59	2.32	0.98
50-50-7	50	7	6.56	5.15	1.49	14.6	4.15	1.49	23.1	1.88	6.02	2.85	0.96
50-50-9		9	8.24	6.47	1.56	17.9	5.20	1.47	28.1	1.85	7.67	3.47	0.97
55-55-6	55	6	6.31	4.95	1.56	17.3	4.40	1.66	27.4	2.08	7.24	3.27	1.07
55-55-8		8	8.23	6.46	1.64	22.1	5.72	1.64	34.8	2.06	9.35	4.03	1.07
55-55-10		10	10.07	7.90	1.72	26.3	6.97	1.62	41.4	2.02	11.27	4.64	1.06
60-60-6	60	6	6.91	5.42	1.69	22.8	5.29	1.82	36.1	2.29	9.4	3.95	1.17
60-60-8		8	9.03	7.09	1.77	29.1	6.88	1.80	46.1	2.26	12.1	4.85	1.16
60-60-10		10	11.07	8.69	1.85	34.9	8.41	1.78	55.1	2.23	14.6	5.58	1.15
65-65-7	65	7	8.70	6.83	1.85	33.4	7.18	1.96	53.0	2.47	13.8	5.25	1.26
65-65-9		9	10.98	8.82	1.93	41.3	9.04	1.94	65.4	2.44	17.2	6.31	1.25
65-65-11		11	13.17	10.34	2.00	48.8	10.80	1.91	76.8	2.42	20.7	7.30	1.25
70-70-7	70 ←	7	9.40	7.38	1.97	42.4	8.4	2.12	67.1	2.67	17.6	6.29	1.37
70-70-9		9	11.90	9.34	2.05	52.6	10.6	2.10	83.1	2.64	22.0	7.57	1.36
70-70-11		11	14.30	11.23	2.13	61.8	12.7	2.08	97.6	2.61	26.0	8.65	1.35
75-75-8	75	8	11.5	9.03	2.13	58.9	11.0	2.26	93.3	2.85	24.4	8.11	1.46
75-75-10		10	14.1	11.07	2.21	71.4	13.5	2.25	113	2.83	29.8	9.54	1.45
75-75-12		12	16.7	13.11	2.29	82.4	15.8	2.22	130	2.79	34.7	10.70	1.44

80-80-8	80	8	12.3	9.66	2.26	72.3	12.6	2.42	115	3.06	29.6	9.2	1.55
80-80-10		10	15.1	11.85	2.34	87.5	15.5	2.41	139	3.03	35.9	10.8	1.54
80-80-12		12	17.9	14.05	2.41	102	18.2	2.39	161	3.00	43.0	12.6	1.53
90-90-9	90	9	15.5	12.17	2.54	116	18.0	2.74	184	3.45	47.8	13.3	1.76
90-90-11		11	18.7	14.68	2.62	138	21.6	2.72	218	3.41	57.1	15.4	1.75
90-90-13		13	21.8	17.11	2.70	158	25.1	2.69	250	3.39	65.9	17.3	1.74
100-100-10	100	10	19.2	15.07	2.82	177	24.7	3.04	280	3.82	73.3	18.4	1.95
100-100-12		12	22.7	17.82	2.90	207	29.2	3.02	328	3.80	86.2	21.0	1.95
100-100-14		14	26.2	20.57	2.98	235	31.5	3.00	372	3.77	98.3	23.4	1.94
120-120-11	120	11	25.4	19.94	3.36	341	39.5	3.66	541	4.62	140	29.4	2.35
120-120-13		13	29.7	23.31	3.44	394	46.0	3.64	625	4.59	162	33.4	2.34
120-120-15		15	33.9	26.61	3.51	446	52.5	3.63	705	4.56	186	37.5	2.34
127-127-9.5	127	9.5	23.2	18.25	3.48	351	38.0	3.88	557	4.90	144	29.2	2.49
127-127-12.7		12.7	30.9	24.27	3.63	457	50.4	3.86	725	4.85	189	36.8	2.48
127-127-13.2		13.2	32.2	25.31	3.65	479	52.9	3.85	763	4.84	196	37.9	2.48
127-127-14.2		14.2	34.4	27.00	3.66	506	55.8	3.84	802	4.83	210	40.5	2.48
127-127-16.76		16.76	40.0	31.44	3.73	578	64.4	3.80	914	4.78	241	45.7	2.46
140-140-13	140	13	35.0	27.48	3.92	638	63.3	4.27	1010	5.38	262	47.3	2.74
140-140-15		15	40.0	31.40	4.00	723	72.3	4.25	1150	5.36	298	52.7	2.73
140-140-17		17	45.0	35.33	4.08	805	81.2	4.23	1280	5.33	334	57.9	2.72
150-150-14	150	14	40.3	31.64	4.21	845	78.2	4.58	1340	5.77	347	58.3	2.94
150-150-16		16	45.7	35.87	4.29	945	88.7	4.56	1510	5.74	391	64.4	2.93
150-150-18		18	51.0	40.04	4.36	1052	99.3	4.54	1670	5.70	438	71.0	2.93

Table de H.P.

POTENCIA DE DISEÑO EN HP
Nº DE HILERAS

TABLA DE SELECCIÓN RÁPIDA



Martin

Diámetros de Sprockets

No. 140 de Paso 1³/₄"

DIAMETROS DE SPROCKETS DE CADENA DE RODILLOS

No. de Paso	Diámetro de Paso	Diámetro Exterior	Diámetro Calibre	No. de Dientes	Diámetro de Paso	Diámetro Exterior	Diámetro Calibre	No. de Dientes	Diámetro de Paso	Diámetro Exterior	Diámetro Calibre
5	2.977	3.458	1.832	71	39.562	40.574	38.553	136	75.765	76.794	74.765
6	3.500	4.081	2.500	72	40.121	41.132	39.121	137	76.321	77.352	75.316
7	4.034	4.683	2.932	73	40.677	41.689	39.667	138	76.879	77.908	75.879
8	4.573	5.275	3.573	74	41.234	42.247	40.234	139	77.436	78.467	76.431
9	5.117	5.859	4.039	75	41.790	42.803	40.781	140	78.008	79.023	77.008
10	5.663	6.437	4.663	76	42.347	43.362	41.347	141	78.549	79.580	77.545
11	6.213	7.011	5.148	77	42.905	43.918	41.895	142	79.107	80.138	78.107
12	6.762	7.581	5.762	78	43.461	44.476	42.461	143	79.664	80.694	78.664
13	7.313	8.150	6.259	79	44.018	45.033	43.009	144	80.220	81.251	79.220
14	7.865	8.717	6.865	80	44.574	45.591	43.574	145	80.777	81.809	79.773
15	8.418	9.282	7.371	81	45.133	46.148	44.123	146	81.335	82.366	80.335
16	8.971	9.847	7.971	82	45.689	46.706	44.689	147	81.891	82.922	80.887
17	9.524	10.411	8.483	83	46.246	47.262	45.237	148	82.448	83.480	81.448
18	10.078	10.974	9.078	84	46.802	47.821	45.802	149	83.006	84.037	82.000
19	10.633	11.538	9.596	85	47.359	48.377	46.351	150	83.563	84.595	82.563
20	11.186	12.100	10.186	86	47.917	48.934	46.917	151	84.119	85.152	83.115
21	11.743	12.661	10.709	87	48.473	49.492	47.465	152	84.676	85.708	83.676
22	12.297	13.221	11.297	88	49.030	50.048	48.030	153	85.234	86.266	84.229
23	12.852	13.783	11.822	89	49.586	50.607	48.579	154	85.790	86.823	84.790
24	13.407	14.343	12.407	90	50.145	51.163	49.145	155	86.347	87.379	85.343
25	13.963	14.903	12.935	91	50.701	51.721	49.693	156	86.905	87.938	85.905
26	14.518	15.463	13.518	92	51.258	52.278	50.258	157	87.462	88.494	86.457
27	15.075	16.023	14.049	93	51.814	52.836	50.807	158	88.018	89.051	87.018
28	15.629	16.581	14.629	94	52.372	53.393	51.372	159	88.576	89.609	87.571
29	16.186	17.141	15.162	95	52.929	53.949	51.921	160	89.133	90.165	88.133
30	16.742	17.700	15.742	96	53.485	54.507	52.485	161	89.689	90.722	88.685
31	17.297	18.260	16.276	97	54.044	55.064	53.035	162	90.246	91.280	89.246
32	17.854	18.818	16.854	98	54.600	55.622	53.600	163	90.804	91.837	89.799
33	18.410	19.378	17.389	99	55.157	56.179	54.150	164	91.361	92.393	90.361
34	18.967	19.936	17.967	100	55.713	56.737	54.713	165	91.917	92.951	90.913
35	19.523	20.494	18.503	101	56.270	57.293	55.264	166	92.475	93.508	91.475
36	20.080	21.053	19.080	102	56.828	57.850	55.828	167	93.032	94.066	92.027
37	20.636	21.611	19.617	103	57.384	58.408	56.378	168	93.588	94.623	92.588
38	21.193	22.169	20.193	104	57.941	58.965	56.941	169	94.147	95.179	93.141
39	21.749	22.727	20.730	105	58.499	59.523	57.492	170	94.703	95.737	93.703
40	22.306	23.286	21.306	106	59.056	60.079	58.056	171	95.260	96.294	94.255
41	22.862	23.844	21.844	107	59.612	60.636	58.606	172	95.816	96.850	94.816
42	23.419	24.402	22.419	108	60.169	61.194	59.169	173	96.374	97.409	95.370
43	23.975	24.960	22.958	109	60.727	61.751	59.720	174	96.931	97.965	95.931
44	24.532	25.519	23.532	110	61.283	62.309	60.283	175	97.487	98.522	96.484
45	25.088	26.077	24.072	111	61.840	62.865	60.834	176	98.046	99.080	97.046
46	25.645	26.633	24.645	112	62.396	63.422	61.396	177	98.602	99.636	97.598
47	26.201	27.192	25.186	113	62.955	63.980	61.948	178	99.159	100.193	98.159
48	26.758	27.750	25.758	114	63.511	64.537	62.511	179	99.715	100.751	98.712
49	27.314	28.308	26.300	115	64.068	65.095	63.062	180	100.273	101.308	99.273
50	27.871	28.866	26.871	116	64.624	65.651	63.624	181	100.830	101.864	99.826
51	28.427	29.423	27.414	117	65.182	66.208	64.176	182	101.386	102.422	100.386
52	28.984	29.981	27.984	118	65.739	66.766	64.739	183	101.945	102.979	100.940
53	29.540	30.539	28.528	119	66.295	67.323	65.290	184	102.501	103.535	101.501
54	30.097	31.096	29.097	120	66.854	67.879	65.854	185	103.058	104.094	102.054
55	30.653	31.654	29.641	121	67.410	68.437	66.404	186	103.614	104.650	102.614
56	31.211	32.212	30.211	122	67.967	68.994	66.967	187	104.172	105.207	103.168
57	31.768	32.769	30.755	123	68.523	69.552	67.518	188	104.729	105.765	103.729
58	32.324	33.327	31.324	124	69.081	70.109	68.081	189	105.285	106.321	104.282
59	32.881	33.885	31.869	125	69.638	70.666	68.632	190	105.844	106.878	104.844
60	33.437	34.442	32.437	126	70.194	71.223	69.194	191	106.400	107.436	105.396
61	33.996	35.000	32.983	127	70.753	71.780	69.746	192	106.957	107.993	105.957
62	34.552	35.557	33.552	128	71.309	72.336	70.309	193	107.513	108.549	106.510
63	35.109	36.115	34.097	129	71.866	72.895	70.860	194	108.071	109.107	107.071
64	35.665	36.673	34.665	130	72.422	73.451	71.422	195	108.628	109.664	107.624
65	36.222	37.230	35.211	131	72.980	74.009	71.974	196	109.184	110.220	108.184
66	36.778	37.788	35.778	132	73.537	74.566	72.537	197	109.743	110.779	108.738
67	37.336	38.344	36.325	133	74.093	75.122	73.088	198	110.299	111.335	109.299
68	37.893	38.903	36.893	134	74.650	75.681	73.650	199	110.856	111.892	109.853
69	38.449	39.459	37.439	135	75.208	76.237	74.202	200	111.414	112.450	110.414
70	39.006	40.017	38.006								

No. 160 de Paso 2"

Diámetros de Sprockets

Martin

DIAMETROS DE SPROCKETS DE CADENA DE RODILLOS

No. de Dientes	Diámetro de Paso	Diámetro Exterior	Diámetro Calibre	No. de Dientes	Diámetro de Paso	Diámetro Exterior	Diámetro Calibre	No. de Dientes	Diámetro de Paso	Diámetro Exterior	Diámetro Calibre
5	3.402	3.952	2.111	71	45.214	46.370	44.079	136	86.588	87.764	85.463
6	4.000	4.664	2.875	72	45.852	47.008	44.727	137	87.224	88.402	86.094
7	4.610	5.352	3.369	73	46.488	47.654	45.352	138	87.862	89.038	86.737
8	5.226	6.028	4.101	74	47.124	48.282	45.999	139	88.498	89.676	87.367
9	5.848	6.696	4.635	75	47.760	48.918	46.625	140	89.134	90.312	88.009
10	6.472	7.356	5.347	76	48.396	49.556	47.271	141	89.770	90.948	88.640
11	7.100	8.012	5.902	77	49.034	50.192	47.898	142	90.408	91.586	89.283
12	7.728	8.664	6.603	78	49.670	50.830	48.545	143	91.044	92.222	89.913
13	8.358	9.314	7.171	79	50.306	51.466	49.171	144	91.680	92.858	90.555
14	8.988	9.962	7.863	80	50.942	52.104	49.817	145	92.316	93.496	91.187
15	9.620	10.608	8.442	81	51.580	52.740	50.444	146	92.945	94.132	91.820
16	10.252	11.254	9.127	82	52.216	53.378	51.091	147	93.590	94.768	92.456
17	10.844	11.898	9.713	83	52.852	54.014	51.718	148	94.226	95.406	93.101
18	11.518	12.542	10.393	84	53.488	54.652	52.363	149	94.864	96.042	93.737
19	12.152	13.186	10.985	85	54.124	55.288	52.991	150	95.500	96.680	94.377
20	12.784	13.828	11.659	86	54.762	55.924	53.637	151	96.136	97.316	95.017
21	13.420	14.470	12.256	87	55.398	56.562	54.264	152	96.772	97.952	95.647
22	14.054	15.110	12.929	88	56.034	57.198	54.909	153	97.410	98.590	96.280
23	14.688	15.752	13.529	89	56.670	57.836	55.537	154	98.046	99.228	96.912
24	15.322	16.392	14.197	90	57.308	58.472	56.183	155	98.682	99.862	97.545
25	15.958	17.032	14.801	91	57.944	59.110	56.810	156	99.320	100.500	98.195
26	16.592	17.672	15.467	92	58.580	59.746	57.455	157	99.956	101.136	98.826
27	17.228	18.312	16.073	93	59.216	60.384	58.083	158	100.592	101.772	99.467
28	17.862	18.950	16.737	94	59.854	61.020	58.729	159	101.230	102.410	100.099
29	18.498	19.590	17.346	95	60.490	61.656	59.357	160	101.866	103.046	100.741
30	19.134	20.228	18.009	96	61.126	62.294	60.001	161	102.502	103.682	101.372
31	19.768	20.868	18.619	97	61.764	62.930	60.630	162	103.138	104.320	102.013
32	20.404	21.506	19.279	98	62.400	63.568	61.275	163	103.776	104.956	102.646
33	21.040	22.146	19.891	99	63.036	64.204	61.903	164	104.412	105.592	103.287
34	21.676	22.784	20.551	100	63.672	64.842	62.547	165	105.048	106.230	103.919
35	22.312	23.422	21.164	101	64.308	65.478	63.176	166	105.686	106.866	104.556
36	22.948	24.060	21.823	102	64.946	66.114	63.821	167	106.322	107.504	105.192
37	23.584	24.698	22.437	103	65.582	66.752	64.449	168	106.958	108.140	105.833
38	24.220	25.336	23.095	104	66.218	67.388	65.093	169	107.596	108.776	106.455
39	24.856	25.974	23.710	105	66.856	68.026	65.723	170	108.232	109.414	107.077
40	25.492	26.612	24.367	106	67.492	68.662	66.367	171	108.868	110.050	107.700
41	26.128	27.250	24.983	107	68.128	69.298	66.996	172	109.504	110.686	108.322
42	26.764	27.888	25.639	108	68.764	69.936	67.639	173	110.142	111.324	108.947
43	27.400	28.526	26.256	109	69.402	70.572	68.269	174	110.778	111.960	109.572
44	28.036	29.164	26.911	110	70.038	70.210	68.913	175	111.414	112.596	109.200
45	28.672	29.802	27.529	111	70.674	71.846	69.542	176	112.052	113.234	110.927
46	29.308	30.438	28.183	112	71.310	72.482	70.185	177	112.688	113.870	111.558
47	29.944	31.076	28.802	113	71.948	73.120	70.815	178	113.324	114.506	112.199
48	30.580	31.714	29.455	114	72.584	73.756	71.459	179	113.960	115.144	112.831
49	31.216	32.352	30.075	115	73.220	74.394	72.089	180	114.598	115.780	113.473
50	31.852	32.990	30.727	116	73.856	75.030	72.731	181	115.234	116.416	114.105
51	32.488	33.626	31.348	117	74.494	75.666	73.362	182	115.870	117.054	114.745
52	33.124	34.264	31.999	118	75.130	76.304	74.005	183	116.508	117.690	115.388
53	33.760	34.902	32.621	119	75.766	76.940	74.645	184	117.144	118.326	116.019
54	34.396	35.538	33.271	120	76.404	77.576	75.279	185	117.780	118.964	116.651
55	35.032	36.176	33.894	121	77.040	78.214	75.908	186	118.416	119.600	117.283
56	35.670	36.814	34.545	122	77.676	78.850	76.551	187	119.054	120.236	117.915
57	36.306	37.450	35.167	123	78.312	79.486	77.181	188	119.690	120.874	118.547
58	36.942	38.088	35.817	124	78.950	80.124	77.825	189	120.326	121.510	119.179
59	37.578	38.726	36.440	125	79.586	80.760	78.455	190	120.964	122.146	119.811
60	38.214	39.362	37.089	126	80.222	81.398	79.097	191	121.600	122.784	120.443
61	38.852	40.000	37.713	127	80.860	82.034	79.728	192	122.236	123.420	121.075
62	39.488	40.636	38.363	128	81.496	82.670	80.371	193	122.872	124.056	121.707
63	40.124	41.274	38.986	129	82.132	83.308	81.001	194	123.510	124.694	122.339
64	40.760	41.912	39.635	130	82.768	83.944	81.643	195	124.146	125.330	122.971
65	41.396	42.548	40.259	131	83.406	84.582	82.274	196	124.781	125.966	123.603
66	42.032	43.186	40.907	132	84.042	85.218	82.917	197	125.420	126.604	124.235
67	42.670	43.822	41.532	133	84.678	85.854	83.547	198	126.056	127.240	124.867
68	43.306	44.460	42.181	134	85.314	86.492	84.189	199	126.692	127.876	125.499
69	43.942	45.096	42.806	135	85.952	87.128	84.820	200	127.330	128.514	126.131
70	44.578	45.734	43.453								

Martin

Diámetros de Sprockets

No. 180

Paso 2 1/4"

DIAMETROS DE SPROCKETS DE CADENA DE RODILLOS

No.	Diámetro de Paso	Diámetro Exterior	Diámetro Calibre	No. de Dientes	Diámetro de Paso	Diámetro Exterior	Diámetro Calibre	No. de Dientes	Diámetro de Paso	Diámetro Exterior	Diámetro Calibre
5	3.828	4.446	2.234	71	50.866	52.166	49.448	136	97.412	98.735	96.006
6	4.500	5.247	3.094	72	51.583	52.884	50.177	137	98.128	99.452	96.715
7	5.186	6.021	3.650	73	52.299	53.600	50.880	138	98.844	100.166	97.438
8	5.879	6.782	4.473	74	53.015	54.317	51.609	139	99.560	100.886	98.148
9	6.579	7.533	5.073	75	53.730	55.033	52.313	140	100.276	101.601	98.870
10	7.281	8.276	5.875	76	54.446	55.751	53.040	141	100.992	102.317	99.580
11	7.986	9.014	6.499	77	55.162	56.466	53.745	142	101.708	103.034	100.302
12	8.693	9.747	7.287	78	55.879	57.184	54.473	143	102.425	103.750	101.012
13	9.402	10.478	7.927	79	56.594	57.899	55.177	144	103.140	104.465	101.734
14	10.112	11.207	8.706	80	57.310	58.617	55.904	145	103.857	105.183	102.445
15	10.822	11.934	9.357	81	58.027	59.333	56.610	146	104.573	105.899	103.167
16	11.533	12.661	10.127	82	58.743	60.055	57.337	147	105.289	106.614	103.877
17	12.245	13.385	10.787	83	59.459	60.766	58.042	148	106.005	108.332	104.599
18	12.957	14.110	11.551	84	60.175	61.484	58.769	149	106.721	108.047	105.309
19	13.670	14.834	12.217	85	60.891	62.199	59.474	150	107.438	108.765	106.032
20	14.383	15.557	12.977	86	61.607	62.915	60.201	151	108.154	109.481	106.742
21	15.096	16.279	13.648	87	62.323	63.632	60.907	152	108.870	110.196	107.464
22	15.810	16.999	14.404	88	63.039	63.348	61.633	153	109.586	110.914	108.174
23	16.524	17.721	15.079	89	63.755	65.066	62.339	154	110.302	111.629	108.896
24	17.238	18.441	15.832	90	64.471	65.781	63.065	155	111.018	112.345	109.607
25	17.952	19.161	16.511	91	65.187	66.499	63.771	156	111.734	113.063	110.328
26	18.666	19.881	17.260	92	65.903	67.214	64.497	157	112.451	113.778	111.039
27	19.381	20.601	17.942	93	66.619	67.932	65.203	158	113.167	114.494	111.761
28	20.096	21.319	18.690	94	67.335	68.648	65.929	159	113.883	115.211	112.471
29	20.810	22.039	19.374	95	68.051	69.363	66.636	160	114.599	115.927	113.193
30	21.525	22.757	20.119	96	68.767	70.081	67.361	161	115.315	116.642	113.904
31	22.240	23.477	20.806	97	69.483	70.796	68.068	162	116.031	117.360	114.625
32	22.955	24.194	21.549	98	70.199	71.514	68.793	163	116.747	118.076	115.336
33	23.670	24.914	22.237	99	70.916	72.230	69.500	164	117.464	118.791	116.058
34	24.385	25.632	22.979	100	71.631	72.947	70.225	165	118.180	119.509	116.768
35	25.101	26.350	23.669	101	72.348	73.663	70.933	166	118.896	120.224	117.490
36	25.816	27.068	24.410	102	73.064	74.378	71.658	167	119.612	120.942	118.201
37	26.531	27.785	25.101	103	73.780	75.096	72.365	168	120.328	121.658	118.922
38	27.246	28.503	25.840	104	74.496	75.812	73.090	169	121.044	122.373	119.633
39	27.962	29.221	26.533	105	75.212	76.529	73.798	170	121.760	123.091	120.354
40	28.677	29.939	27.271	106	75.928	77.245	74.522	171	122.477	123.806	121.065
41	29.393	30.656	27.965	107	76.644	77.960	75.230	172	123.193	124.522	121.787
42	30.108	31.374	28.702	108	77.360	78.678	75.954	173	123.909	125.240	122.498
43	30.824	32.092	29.397	109	78.073	79.394	76.662	174	124.625	125.955	123.219
44	31.539	32.810	30.133	110	78.792	80.111	77.386	175	125.341	126.671	123.930
45	32.255	33.527	30.830	111	79.508	80.827	78.095	176	126.057	127.388	124.651
46	32.971	34.243	31.565	112	80.225	81.542	78.819	177	126.774	128.104	125.363
47	33.686	34.961	32.262	113	80.931	82.260	79.527	178	127.490	128.819	126.084
48	34.402	35.678	32.996	114	81.657	82.976	80.251	179	128.206	129.537	126.795
49	35.118	36.396	33.694	115	82.373	83.693	80.959	180	128.922	130.253	127.516
50	35.834	37.114	34.428	116	83.089	84.409	81.683	181	129.638	130.968	128.227
51	36.549	37.829	35.126	117	83.805	85.124	82.392	182	130.354	131.686	128.948
52	37.265	38.547	35.859	118	84.521	85.842	83.115	183	131.071	132.401	129.660
53	37.981	39.265	36.558	119	85.237	86.558	83.824	184	131.787	133.117	130.381
54	38.696	39.980	37.290	120	85.953	87.273	84.547	185	132.503	133.835	131.092
55	39.412	40.698	37.990	121	86.670	87.991	85.256	186	133.219	134.550	131.813
56	40.128	41.416	38.722	122	87.386	88.706	85.980	187	133.935	135.266	132.524
57	40.844	42.131	39.422	123	88.102	89.424	86.689	188	134.651	135.983	133.245
58	41.560	42.849	40.154	124	88.818	90.140	87.412	189	135.367	136.699	133.957
59	42.276	43.567	40.855	125	89.534	90.855	88.121	190	136.084	137.414	134.678
60	42.991	44.282	41.585	126	90.250	91.573	88.844	191	136.800	138.132	135.389
61	43.707	45.000	42.287	127	90.966	92.288	89.553	192	137.516	138.848	136.110
62	44.423	45.716	43.017	128	91.682	93.004	90.276	193	138.232	139.563	136.822
63	45.139	46.433	43.719	129	92.399	93.722	90.986	194	138.948	140.281	137.542
64	45.855	47.151	44.449	130	93.115	94.437	91.709	195	139.664	140.996	138.254
65	46.571	47.867	45.151	131	93.831	95.155	92.418	196	140.381	141.712	138.975
66	47.287	48.584	45.881	132	94.547	95.870	93.141	197	141.097	142.430	139.686
67	48.003	49.300	46.584	133	95.263	96.586	93.850	198	141.813	143.145	140.407
68	48.719	50.018	47.313	134	95.979	97.304	94.573	199	142.529	143.861	141.119
69	49.435	50.733	48.016	135	96.695	98.019	95.283	200	143.245	144.578	141.839

Ingeniería de Transmisión de Cadena

Martin

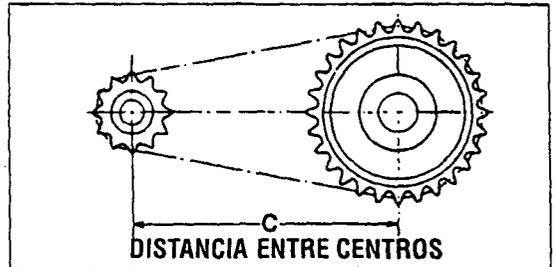
Cálculo de Largo de Cadena

La siguiente ecuación puede ser utilizada para determinar el largo de la cadena requerido para cualquier transmisión de dos sprockets.

$$L = 2C + \frac{N+n}{2} + \frac{.1013(N-n)^2}{4C} \text{ ó substituyendo A por } \frac{.1013(N-n)^2}{4}, L = 2C + \frac{N+n}{2} + \frac{A}{C}$$

donde:

- C = Distancia Entre Centros de los Ejes en Pasos
- L = Largo de Cadena en Pasos
- N = Número de Dientes en el Sprocket Mayor
- n = Número de Dientes en el Sprocket Menor
- π = 3.1416
- A = Valor de la Tabla de Abajo Tabulada Para los Valores de N-n



NOTA: El método descrito con la tabla anterior de constantes es aceptable para casi todas las transmisiones de cadena comerciales. Sin embargo, cuando se necesite un grado mayor de precisión, especialmente si la transmisión es vertical, la siguiente fórmula es útil para determinar la distancia entre centros aproximada para largos de cadena ya determinados.

Cálculo para Distancia Entre Centros

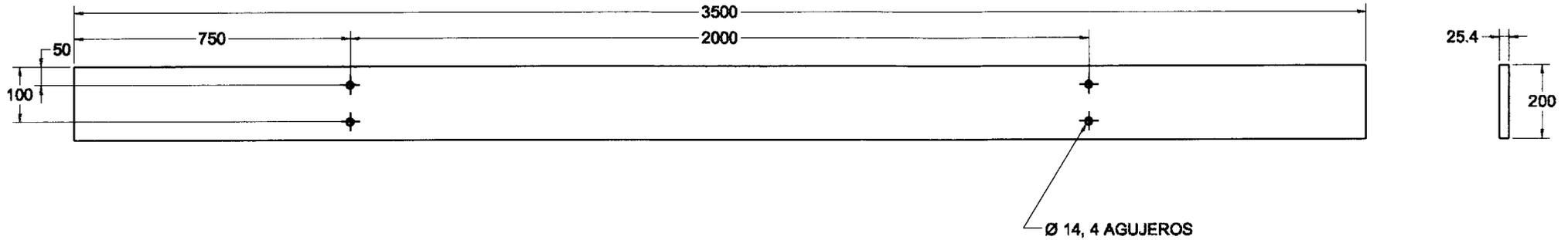
La siguiente fórmula es útil para determinar los centros aproximados en pasos para largos de cadena en pasos ya determinados.

$$C = \frac{P}{8} \left\{ 2L - N - n + \sqrt{(2L - N - n)^2 - 0.810(N - n)^2} \right\}$$

Valores de A Para Cálculo del Largo de Cadena

N-n	A	N-n	A	N-n	A	N-n	A	N-n	A	N-n	A
1	.03	32	25.94	63	100.54	94	223.82	125	395.79	156	616.44
2	.10	33	27.58	64	103.75	95	228.61	126	402.14	157	624.37
3	.23	34	29.28	65	107.02	96	233.44	127	408.55	158	632.35
4	.41	35	31.03	66	110.34	97	238.33	128	415.01	159	640.38
5	.63	36	32.83	67	113.71	98	243.27	129	421.52	160	648.46
6	.91	37	34.68	68	117.13	99	248.26	130	428.08	161	656.59
7	1.24	38	36.58	69	120.60	100	253.30	131	434.69	162	664.77
8	1.62	39	38.53	70	124.12	101	258.39	132	441.36	163	673.00
9	2.05	40	40.53	71	127.69	102	263.54	133	448.07	164	681.28
10	2.53	41	42.58	72	131.31	103	268.73	134	454.83	165	689.62
11	3.06	42	44.68	73	134.99	104	273.97	135	461.64	166	698.00
12	3.65	43	46.84	74	138.71	105	279.27	136	468.51	167	706.44
13	4.28	44	49.04	75	142.48	106	284.67	137	475.42	168	714.92
14	4.96	45	51.29	76	146.31	107	290.01	138	482.39	169	723.46
15	5.70	46	53.60	77	150.18	108	295.45	139	489.41	170	732.05
16	6.48	47	55.95	78	154.11	109	300.95	140	496.47	171	740.68
17	7.32	48	58.36	79	158.09	110	306.50	141	503.59	172	749.37
18	8.21	49	60.82	80	162.11	111	312.09	142	510.76	173	758.11
19	9.14	50	63.33	81	166.19	112	317.74	143	517.98	174	766.90
20	10.13	51	65.88	82	170.32	113	323.44	144	525.25	175	775.74
21	11.17	52	68.49	83	174.50	114	329.19	145	532.57	176	784.63
22	12.26	53	71.15	84	178.73	115	334.99	146	539.94	177	793.57
23	13.40	54	73.86	85	183.01	116	340.84	147	547.36	178	802.57
24	14.59	55	76.62	86	187.34	117	346.75	148	554.83	179	811.61
25	15.83	56	79.44	87	191.73	118	352.70	149	562.36	180	820.70
26	17.12	57	82.30	88	196.16	119	358.70	150	569.93	181	829.85
27	18.47	58	85.21	89	200.64	120	364.76	151	577.56	182	839.04
28	19.86	59	88.17	90	205.18	121	370.86	152	585.23	183	848.29
29	21.30	60	91.19	91	209.78	122	377.02	153	592.96	184	857.58
30	22.80	61	94.25	92	214.40	123	383.22	154	600.73	185	866.93
31	24.34	62	97.37	93	219.08	124	389.48	155	608.56		

PLANOS DE ELEMENTOS



DIMENSIONES EN MILIMETROS

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DEL LITORAL

TABLON EXTERIOR

MATERIAL - MADERA CHANUL

CANT. REQ. 120

ESCALA: 1:16

DIBUJO: M. BAQUE

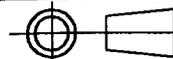
DIBUJO N°:

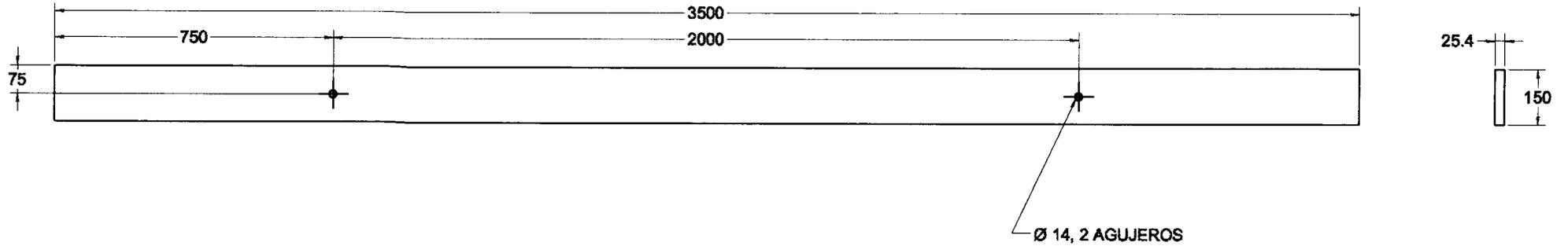
FECHA: 25 08 01

REVISO: ING. HELGUERO

1

MODIFICACIONES





DIMENSIONES EN MILIMETROS

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DEL LITORAL

TABLON INTERMEDIO

MATERIAL - MADERA CHANUL

CANT. REQ. 120

ESCALA: 1:16

DIBUJO: *M. BAQUE*

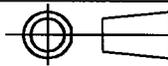
DIBUJO Nº:

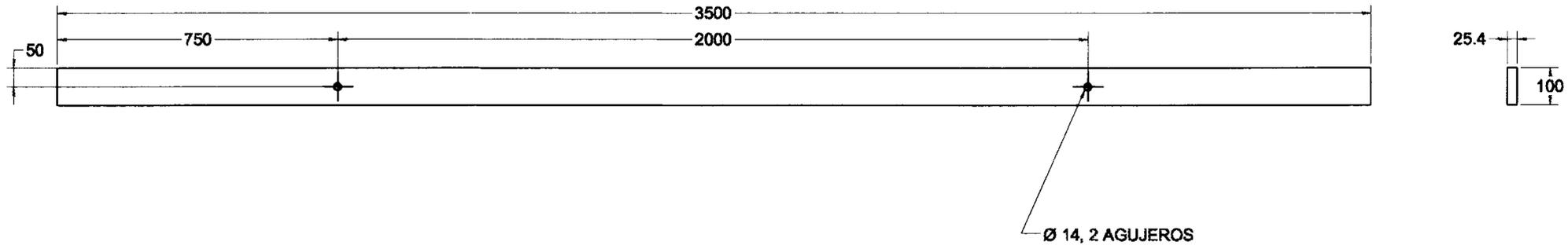
FECHA: 25 08 01

REVISO: *ING. HELGUERO*

2

MODIFICACIONES





DIMENSIONES EN MILIMETROS

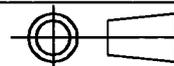
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DEL LITORAL

TABLON INTERIOR

MATERIAL - MADERA CHANUL

CANT. REQ. 120

MODIFICACIONES	



ESCALA: 1:16

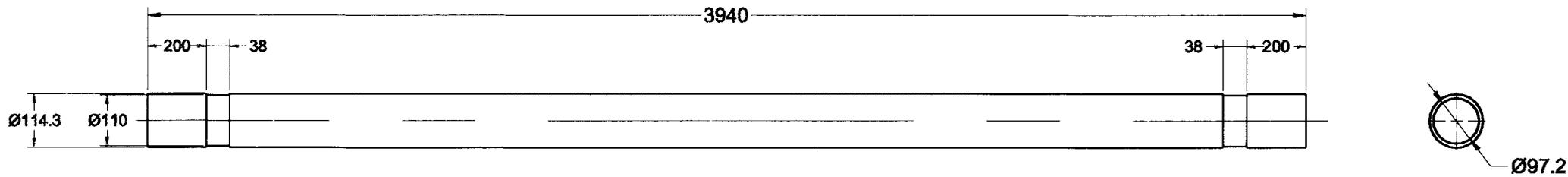
DIBUJO: M. DIAQUE

DIBUJO Nº:

FECHA: 25 08 01

REVISO: ING. HELGUERO

3



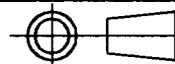
DIMENSIONES EN MILIMETROS

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DEL LITORAL

TRAMO DE ARBOL
PRINCIPAL

MATERIAL - TUBERIA ACERO SAE 1018 CED. 80 CANT. REQ. 48

MODIFICACIONES	



ESCALA: 1:18

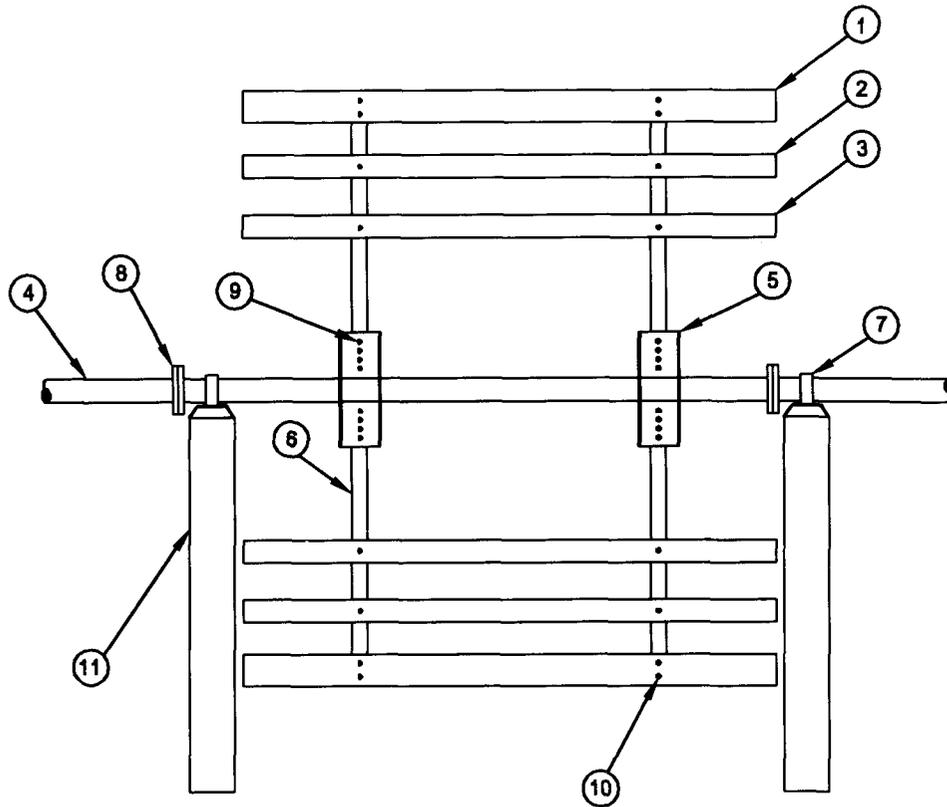
DIBUJO: M. BAQUE

DIBUJO N°:

FECHA: 25 08 01

REVISO: ING. HELGUERO

4



CANT.	PIEZA	MAT.	DESCRIPCION	PZA. No.
2	TABLON EXTERIOR	CHANUL	TABLON DE 3.5 X 0.2 m DE 2.5 DE ESPESOR	1
2	TABLON INTERMEDIO	CHANUL	TABLON DE 3.5 X 0.15 m DE 2.5 DE ESPESOR	2
2	TABLON INTERIOR	CHANUL	TABLON DE 3.5 X 0.1 m DE 2.5 DE ESPESOR	3
1	TRAMO DE ARBOL PRINCIPAL	SAE 1018	TUBERIA DE ACERO DE DIAM. 4" , CED 80	4
2	APOYO DE BRAZOS	A 36	CONSTRUIDO CON PLANCHAS DE ACERO CON PERFORACIONES PARA PERNOS DE SUJECION DE BRAZOS	5
4	BRAZOS	SAE 1018	PERFIL L CON PERFORACIONES PARA PERNOS DE SUJECION	6
2	CHUMACERAS	HIERRO FUNDIDO	DESARMABLE, DE BOLAS SKF - 6222	7
4	BRIDAS	HIERRO FUNDIDO	CLASE 150, 8 PERNOS	8
16	PERNOS	ACERO GALVANIZADO	M13 X 1.5 X 30	9
16	PERNOS	ACERO GALVANIZADO	M13 X 1.5 X 40	10
2	PILARES	HORMIGON	SECCION 0.4 X 0.4 m	11

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DEL LITORAL

CONJUNTO FLOCULADOR



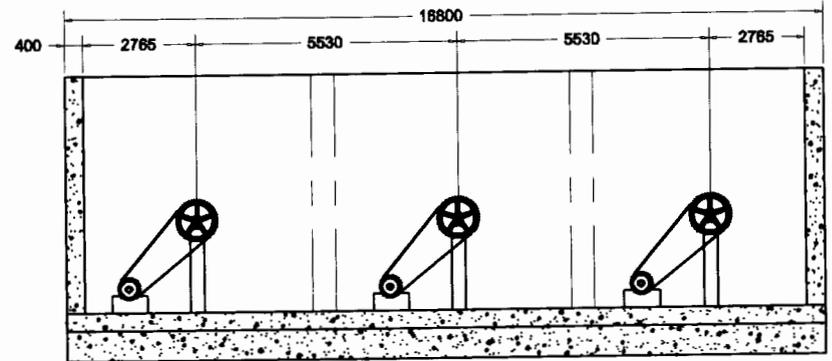
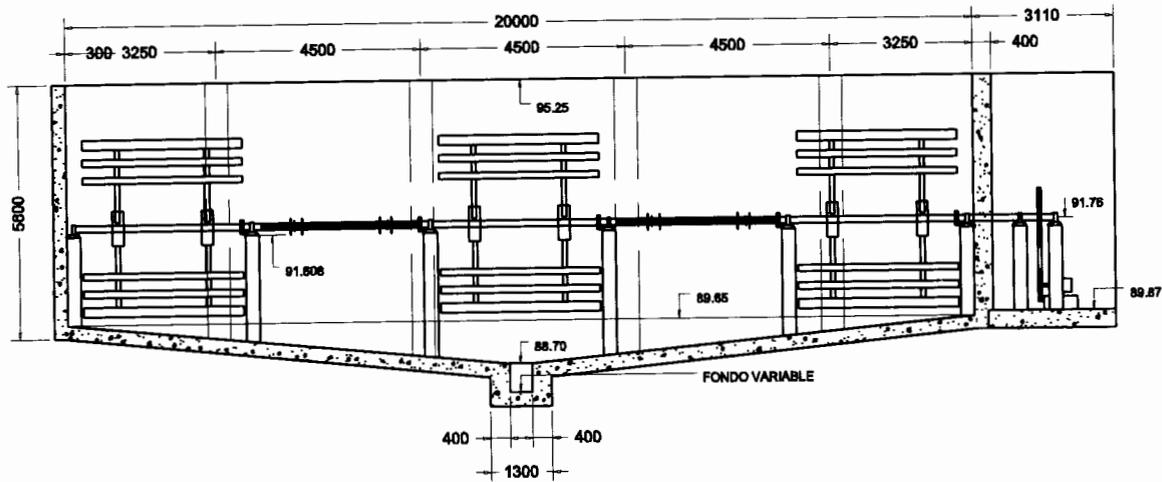
ESCALA: 1:10

FECHA: 25 08 01

DIBUJO: M. BAQUE

REVISO: ING. HELGUERO

DIBUJO N°:
9



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DEL LITORAL

CAMARAS DE FLOCULACION



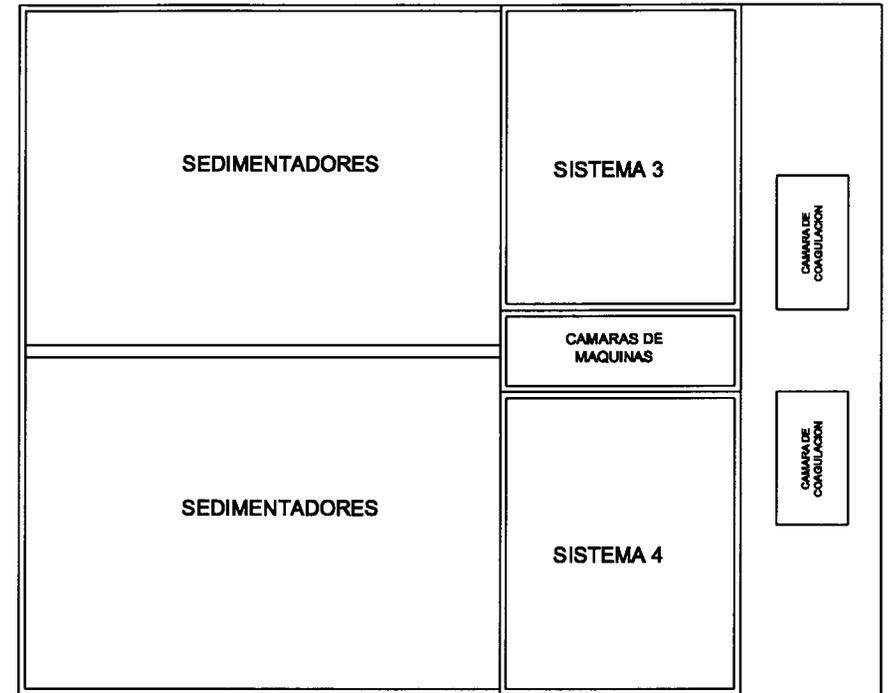
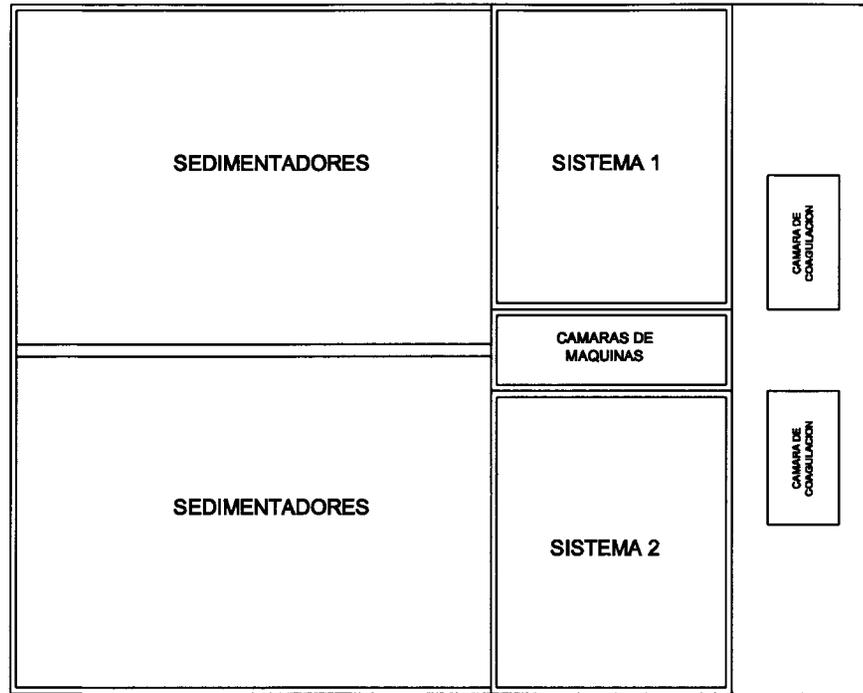
ESCALA: 1:167

FECHA: 25 08 01

DIBUJO: M. BAQUE

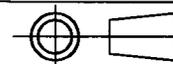
REVISO: ING. HELGUERO

DIBUJO N°:
10



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DEL LITORAL

ESQUEMA DE LA PLANTA
CONVENCIONAL



ESCALA:

FECHA: 25 08 01

DIBUJO: *M. BAQUE*

REVISO: *ING. HELGUERO*

DIBUJO Nº:

11

BIBLIOGRAFIA

1. **JORGE ARBOLEDA**, Teoría y Práctica de la Purificación del Agua, Editorial Mc. Graw Hill.
2. **SEMINARIO SOBRE MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA**, Cartagena – Colombia, 1.987
3. **ESTUDIOS Y PROYECTOS DE MEJORAS Y AMPLIACIONES PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO “LA TOMA” Y ESTACIONES DE BOMBEO DE AGUA CRUDA**, Empresa Cantonal de Agua Potable de Guayaquil, ECAPAG , 1980
4. **COAGULATION DESIGN HANGOUT**, Virtual Library – INTERNET
5. **RAPIS MIXING**, Virtual Library – INTERNET
6. **CARACTERISTICAS DEL AGUA Y PROCESOS DE POTABILIZACION**, ASC Medio Ambiente, “<http://www.ascmedioambiente.html>”
7. **PROCESO GENERAL DE POTABILIZACION**, “<http://www.aaa.com.co/potabilizacion.html>”

8. **FLOCCULATION, FLUID DYNAMICS AND FINING**, Instituto de Ciencias Químicas, BRF Internacional.
9. **DAVID L. FORBES, THEORY OF FLOCCULATION**, WET, INC, Technical Information
10. **FLOCCULATION THEORY**, Jim Myers & Sons, Inc.
11. **USO DE DATOS DE LABORATORIO PARA DISEÑO DE FLOCULADORES**, CEPIS OPS-HTD, Octubre 2000.
12. **SYNGER AND PYTEL**, Resistencia de Materiales, Editorial Mc. Graw Hill
13. **FOX MCDONALD**, Mecánica de Fluídos, Editorial Mc Graw Hill
14. **MANUAL DE RECUBRIMIENTOS METALICOS**, SIKA CO.