

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Sanitaria



**Efectos de Carga Superficial y Período
de Retención en la Sedimentación
de Partículas Floculantes**

TESIS DE GRADO

**PARA OBTENER LOS TITULOS DE
BACHILLER E INGENIERO SANITARIO**

MARIA E. VALVERDE UGARTE

PROMOCION 1966

LIMA-PERU 1967

I N T R O D U C C I O N

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Canta - Apurí
DIVISION DE AGUA
BIBLIOTECA CENTRAL

El proceso de sedimentación, es uno de los métodos mas antiguos para clarificar el agua, y se basa en que los sólidos suspendidos tienen mayor densidad que el líquido.

Un efecto de sedimentación natural, es el que se produce en los lagos, riachuelos, lagunas, etc., de allí que éste proceso haya sido uno de los primeros empleados en el tratamiento del agua.

Cuando las impurezas del líquido suspendido son separadas solamente por la acción de la fuerza de la gravedad, por gravitación o mediante el agregado de partículas en sedimentación, se llama: sedimentación simple o sedimentación pura. Se denomina floculación o coagulación, si se agrega ciertas sustancias para inducir o promover la aglomeración de las partículas suspendidas y finamente divididas. Finalmente, cuando se agregan sustancias con el fin de disolver las impurezas que no han entrado en solución, se llama: precipitación química.

En los trabajos modernos de purificación de agua, los tanques de sedimentación son empleados para la remoción de color, turbidez, dureza, etc.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Calle - Apurí 1301 Lima - Perú
DIVISION DE ASUNTOS
BIBLIOTECA CENTRAL

CARACTERISTICA DE LA SEDIMENTACION.-

Cuando una partícula está sedimentando en un líquido a una velocidad constante, la fuerza de impulsión F_1 debida a la gravedad, es exactamente igual a F_D , que es la fuerza desarrollada por la partícula al pasar por el líquido.

$$F_1 = (\rho_s - \rho) g v \dots\dots(1)$$

F_1 = Fuerza de impulsión

g = Constante de gravedad (981 cm/seg²)

v = Volúmen de la partícula (cm³)

ρ_s = Densidad de la partícula (grs/cm³)

ρ = Densidad del líquido (grs/cm³)

Por otro lado, la fuerza de arrastre de la partícula está dada por :

$$F_D = A_c \frac{\rho v_s^2}{2} C_D \dots\dots(2)$$

A_c = Area transversal de la partícula (cm²)

v_s = velocidad de sedimentación (cm/seg)

C_D = Coeficiente de arrastre de Newton.

El valor de C_D no es constante; depende del Número de Reynolds que tiene el fluido alrededor de la partícula y su fórmula es :

$$N.R. = \frac{\rho v_s d}{\mu} \dots\dots(3)$$

μ = Viscosidad absoluta (grs./seg./cm²)

Si se efectúan las ecuaciones 1 y 2, se obtiene otra que nos dará la velocidad con que sedimenta o se eleva una partícula discreta, entendiéndose por partícula discreta, aquella que conserva su tamaño, forma y densidad y sedimenta a una velocidad constante, siempre que el líquido que la contenga no haya sufrido alteración alguna.

$$A_c \rho \frac{v_s^2}{2} C_D = (\rho_s - \rho) R V$$

Despejando v_s :

$$v_s = \frac{2 R V (\rho_s - \rho)}{C_D \rho A_c}$$

Si la partícula fuera esférica:

$$V = \frac{d^3 \pi}{6}$$

y :

$$A_c = \pi \frac{d^2}{4} \quad \text{Luego : } \frac{V}{A_c} = \frac{2}{3} d$$

Por lo tanto :

$$v_s = \sqrt{\frac{4 g d (\rho_s - \rho)}{3 C_D \rho}}$$

O mas propiamente si el líquido fuera agua :

$$v_s = \sqrt{\frac{4 g d (S_s - 1)}{3 C_D}} \dots\dots(4)$$

S_s = Gravedad específica de la partícula.

Observaciones hechas por T.R. Camp, indican que para valores

del N.R. menor que 1 : $C_D = \frac{24}{N.R.}$

BIBLIOTECA CENTRAL
INSTITUTO DE INGENIERIA

Este valor de C_D , se utiliza para resolver problemas prácticos en la sedimentación de agua y desagües.

Sustituyendo $\frac{24}{N.R.}$ por C_D , en la ecuación (4), se tiene la siguiente relación :

$$v_s = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{g d(N.R.)}{24} (S_s - 1)}$$

Reemplazando N.R. por su valor dado en la ecuación (3) :

$$v_s = \sqrt{\frac{4}{3} g d \frac{\rho v_{sd}}{24 \mu} (S_s - 1)}$$

o,

$$v_s = \frac{g d^2 (S_s - 1) \rho}{18 \mu} \dots \dots (5)$$

Siendo esta ecuación (5), la ley de Stoke. Esta fórmula es aplicada para calcular la velocidad de sedimentación de partículas que se hallen sometidas a resistencia viscosa y que de acuerdo a Camp¹, es el caso de muchos tanques de sedimentación empleados en tratamientos de agua y desagüe. Cuando el N.R. del agua alrededor de la partícula sedimentante es mayor que 1000, las fuerzas de la resistencia turbulenta se encuentran en predominio y el valor de C_D en éste caso, se vuelve constante. Para partículas esféricas y para un N.R. alto, Camp encontró para C_D , un valor de 0.4 .

Sustituyendo éste nuevo valor de C_D , en la ecuación (5), se tiene lo siguiente :

$$v_s = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{g d}{0.4} (S_s - 1)}$$

$$v_s = \sqrt{3.3 g d (S_s - 1)} \dots (6)$$

La ecuación (6), puede ser usada para el cálculo de la velocidad de sedimentación de una partícula en donde el N.R. del agua que la rodea sea mayor que 1000.

Entre la zona de sedimentación viscosa y turbulenta existe una zona de transición en donde ambas fuerzas: viscosidad y turbulencia, tienen importancia. En éste rango, al cálculo de la velocidad de sedimentación se hace difícil y por lo tanto está sujeta a errores. Esto se puede comprobar mas facilmente viendo la Fig.1.

Afortunadamente, de acuerdo con el concepto de Camp, se puede decir que una gran mayoría de las partículas que se encuentran en un tratamiento de agua o desagüe, sedimentan a velocidades muy cercanas al rango de la ley de Stoke¹.

Observando la fórmula de la ley de Stoke, ecuación (5), se puede ver que la velocidad de sedimentación de las partículas que tienen igual gravedad específica, varía directamente con el cuadrado de sus diámetros. Esto quiere decir que las partículas mas grandes sedimentan mas rápido y arrastran consigo a

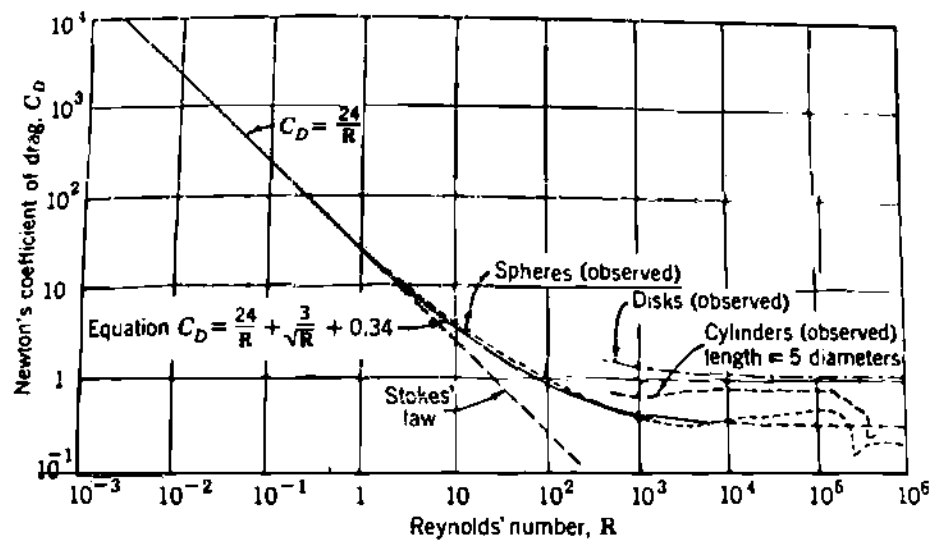
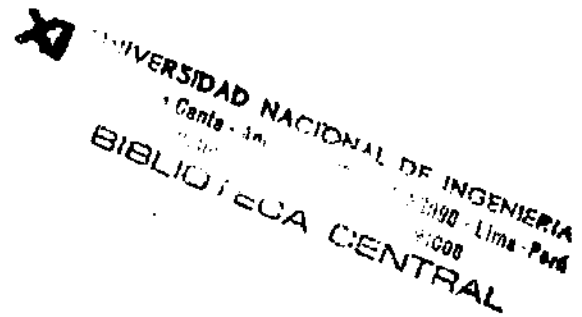


Figure 1. Newton's coefficient of drag for varying magnitudes of Reynolds number. "Observed Curves after Camp," *Trans. Am. Soc. Civil Engrs.*, 103, 507 (1916).



las mas pequeñas².

PARTICULAS DISCRETAS Y FLOCULANTES.-

La materia sólida suspendida que se presenta en el agua, sea cual fuere su procedencia, es de carácter floculante y discreto.

Como se citó anteriormente, partículas discretas son aquellas que no se alteran ni en tamaño, forma, ni peso; es decir, conservan su identidad durante el proceso de sedimentación, por lo tanto, su velocidad de sedimentación se mantiene constante.

La trayectoria de una partícula está determinada, por el vector suma de su velocidad de asentamiento y la velocidad horizontal del líquido. Así, bajo condiciones de flujo uniforme con dirección horizontal, las partículas tienen trayectorias exactas.

Partículas floculantes son aquellas que al ponerse en contacto unas con otras, tienden a mantenerse juntas o a flocular. Por consiguiente, la floculación aumenta el tamaño de la partícula y esta nueva partícula puede contener más o menos cantidad de agua que las partículas originales, cambiando por este motivo la densidad específica de la partícula aglomerada. La forma de la partícula aglomerada puede ser diferente de la forma de las

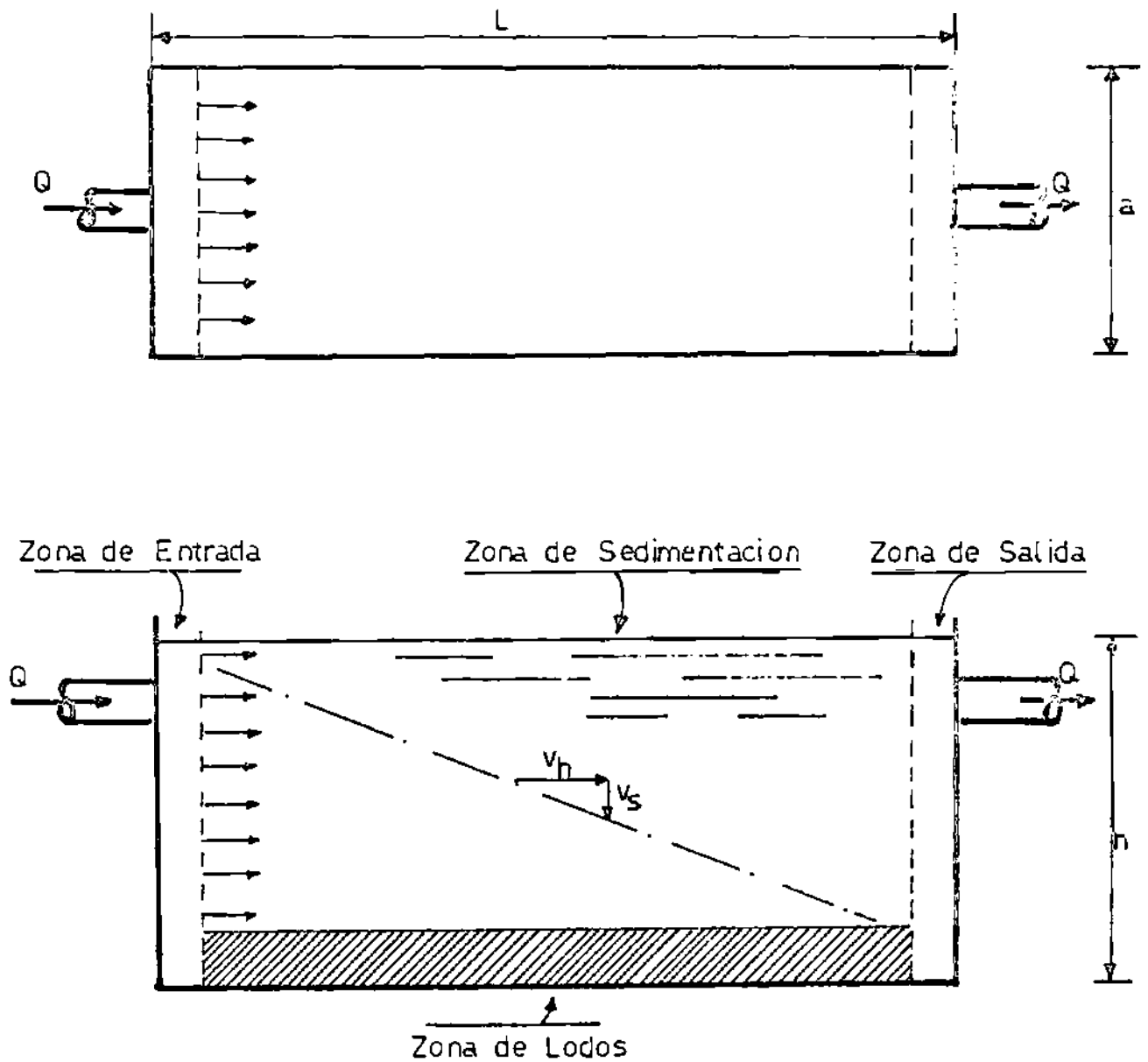


Fig N°2. — Tanque ideal

partículas que la componen, es por esto que cambia sus características hidráulicas en cuanto a sedimentación se refiere.

Estos tipos de partículas entonces no tienen una velocidad de sedimentación constante, pero normalmente aumenta ésta velocidad durante el proceso de sedimentación y por consiguiente sus trayectorias son curvas las que poco a poco aumentan sus pendientes.

SEDIMENTACION EN UN TANQUE IDEAL DE FLUJO HORIZONTAL.-

La mayor parte del tema de sedimentación ha sido desarrollado empleando un tanque de sedimentación hipotético que se llama: "tanque ideal". Se entiende entonces por tanque ideal, aquel en que el proceso de sedimentación se realiza en tales condiciones hidráulicas que en la práctica no es posible efectuar en forma amplia en tanques reales.

Un tanque ideal comprende las siguientes cuatro secciones: (Ver Fig.2).

1. Zona de Entrada:

En donde el líquido influente y la materia suspendida entra y se dispersa a través de la sección transversal.

2. Zona de Sedimentación:

Donde las partículas en suspensión, sedimentan.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
ESTADO 100
1950
17/11/50

3. Zona de Lodos:

Adyacente al fondo, zona en la que el lodo acumulado será removido.

4. Zona de Salida:

Aquí el fluido clarificado y libre de materias en suspensión, saldrá por el conducto de salida.

Para un tanque ideal de flujo horizontal, se cumplirá lo siguiente:

1. La velocidad horizontal de flujo será la misma en todos los puntos de la zona de sedimentación.
2. Todas las líneas de flujo en la zona de sedimentación serán paralelas a los lados y al piso del tanque.
3. Las partículas serán uniformemente distribuidas tanto horizontal como verticalmente a la entrada a la zona de sedimentación.
4. Se considera que una partícula ha sido removida, si toca la superficie de la zona de sedimentación ^{de lodos} antes de entrar a la zona de salida.

La teoría clásica de la sedimentación, fue desarrollada primeramente por Hazen³ en 1904. Posteriormente Camp⁴⁻⁵ amplificó dicha teoría. Las ideas básicas de ésta teoría se fundamentaron

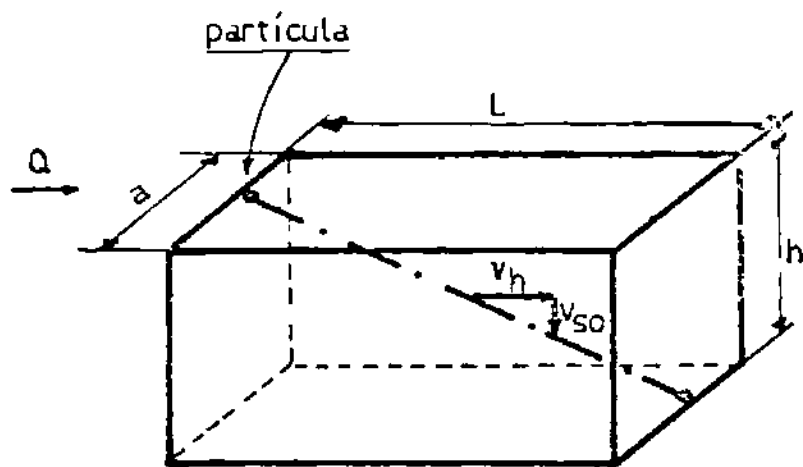


Fig N°3.— Trayectoria crítica de una partícula cuya $v_s = v_{s0}$

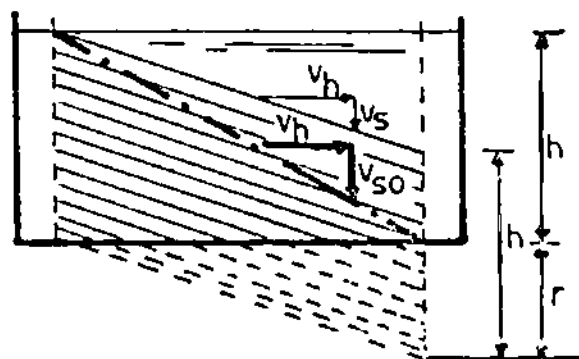


Fig N°4.— Trayectorias de partículas discretas cuya v_s constante es menor que v_{s0}

en el concepto de tanque ideal.

Una partícula discreta cuya densidad sea mayor que la del agua y se encuentre en un medio que reúna las condiciones ideales para una buena sedimentación, seguirá una trayectoria de sedimentación en línea recta, como muestra la Fig.2.

La pendiente de la trayectoria de sedimentación depende solamente de la velocidad horizontal en el tanque (v_h) y de la velocidad de sedimentación (v_s) de la partícula.

Una partícula que se encuentra en la superficie del agua a la entrada de la zona de sedimentación, deberá tener una velocidad de sedimentación igual o mayor que el valor de v_{s0} , para que pueda alcanzar la zona de lodos y de ésta forma ser removida. Fig.3.

Esta suposición es cierta desde el punto de vista teórico y puede ser demostrada así:

En la Fig.3, tenemos para la partícula:

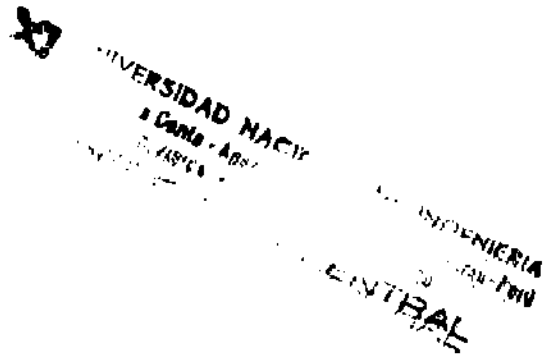
$$\frac{v_h}{v_{s0}} = \frac{l}{h}$$

pero :

$$v_h = \frac{l}{a \cdot h}$$

entonces se puede escribir:





$$\frac{v/a \cdot h}{v_{so}} = \frac{L}{h}$$

ó :

$$v_{so} = \frac{Q}{a \cdot l}$$

Las unidades de v_{so} , son: mts/seg.

Q , es la razón de flujo que entra al tanque, y $(a \cdot l)$ es el área superficial del tanque. La relación: $\frac{Q}{a \cdot l}$, es comunmente llamada carga superficial o carga hidráulica superficial del tanque.

Para esta Tesis, se le conocerá como "carga superficial".

Si una partícula entra a la zona de sedimentación por la superficie y tiene una velocidad de sedimentación igual a la carga superficial: ($v_s = v_{so} = \frac{Q}{a \cdot l}$), esta partícula tocará el fondo del tanque exactamente al comienzo de la zona de salida, como se muestra en la trayectoria individual de una partícula en la Fig.3.

Si una partícula entra a zona de sedimentación por la superficie y tiene una velocidad de sedimentación menor que v_{so} , pasará a la zona de salida sin haber tocado el fondo y por lo tanto, escapará del tanque, es decir, no será removida.

Bajo condiciones ideales, todas las partículas discretas que se encuentren en un tanque y cuyas velocidades sean iguales o

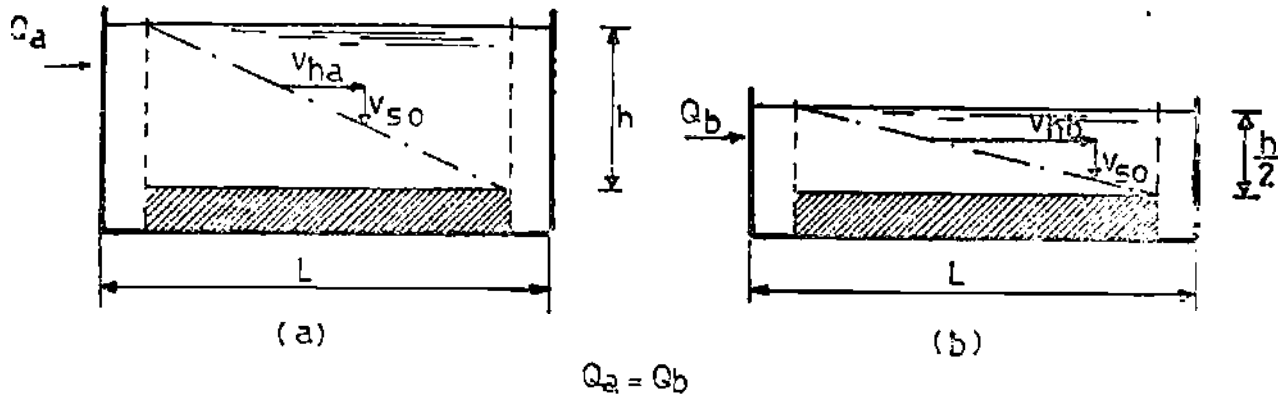


Fig N°5.—Trayectorias de partículas discretas en tanques ideales

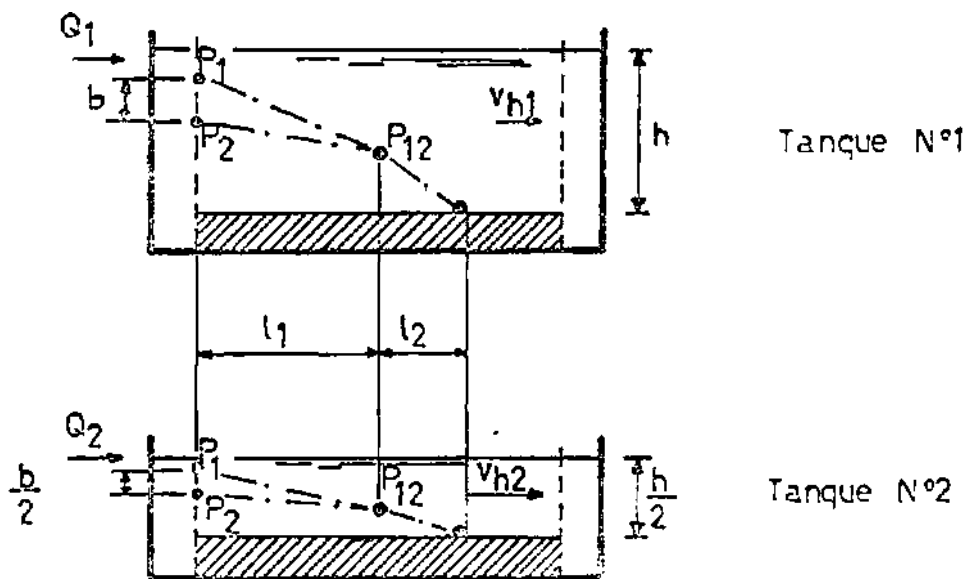


Fig N°6.—Trayectorias de partículas floculantes en tanques ideales según T.R.Camp

BIBLIOTECA CENTRAL
 INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA
 1954-1958

mayores que v_{so} , serán removidas. Por otro lado, un porcentaje de aquellas partículas discretas que tengan una velocidad de sedimentación menor que v_{so} , también serán removidas.

Como podrá verse en la Fig.4, la remoción de aquellas partículas individuales cuyas velocidades de sedimentación son menores que v_{so} , depende de la velocidad de sedimentación de la partícula y de la distancia debajo de la superficie del tanque a la cual entra a la zona de sedimentación.

La Fig.4, muestra que:

$$\frac{r}{h} = \frac{v_s}{v_{so}} \quad \% \text{ de partículas que tienen una velocidad de sedimentación específica que es menor que } v_{so}.$$

También se puede ver que la remoción de las partículas discretas en un tanque ideal, es independiente de la profundidad del tanque (periodo de retención).

Si colocamos una partícula discreta que tiene una velocidad de asentamiento v_{so} , en un tanque cuya área superficial sea igual a la de la Fig.3, pero con una profundidad igual a la mitad, esta partícula tocará el fondo de la zona de lodos a la misma distancia de la zona de entrada, que en un tanque de mayor profundidad. Esto se ilustra en la Fig.5.

v_{so} , es igual para el tanque (a) y para el (b), pero v_{hb} ,

es dos veces v_{ha} , desde que la pendiente de sedimentación de la trayectoria de la partícula en el tanque (a), es dos veces la de (b). Pero en ambos tanques, las partículas tocarán la superficie de la zona de lodos a la misma distancia de la zona de entrada; esto debido a que la profundidad del tanque (b), es la mitad de la profundidad del tanque (a).

Desde que el flujo Q , que entra a ambos tanques es el mismo, el periodo de retención en el tanque (b), es la mitad del de (a), pero siguiendo el razonamiento anterior, se puede ver que la remoción de la partícula será la misma para ambos casos.

La misma forma de razonamiento⁵ se puede usar para la sedimentación de partículas flocculantes, como se ilustra en la Fig.6.

Las dos partículas flocculantes: F_1 y F_2 , son colocadas en línea vertical a la entrada de la zona de sedimentación. La diferencia que hay en sus respectivas velocidades de sedimentación, hacen que ellas se encuentren a la distancia: l_1 , de la zona de entrada. Pero como las partículas son flocculantes, cuando se encuentran forman una partícula mas grande ($F_{1,2}$), que sedimentará mas rápido que F_1 ó F_2 (Ver ecuaciones 4 y 5) La partícula: $F_{1,2}$, tocará la zona de lodos a una distancia l_2 del punto de encuentro y entonces será removida. La Fig.6,

nos muestra que si el tanque (2), es la mitad de la profundidad del tanque (1), y que si la distancia vertical que separa a las partículas a la entrada del tanque (2), es la mitad que la del tanque (1), entonces el punto de encuentro de F_1 y F_2 , y el punto donde la partícula i_{1-2} , toquen la zona de lodos, será exactamente a la misma distancia de la zona de entrada en ambos tanques, sin importar la altura de ellos.

Estos argumentos presentados por Camp⁵, parecen indicar que la remoción tanto de partículas discretas y floculantes en un proceso de sedimentación, es independiente de la profundidad del tanque ó en forma mas general, independiente del periodo de retención y que solo depende de la carga superficial del tanque

$$\left(\frac{Q}{a.l}\right) \text{ quiere decir, que para cualquier suspen-}$$

sión de partículas discretas o floculantes, el porcentaje de partículas removidas será el mismo en cualquier tanque de sedimentación que trate el mismo flujo (Q), y tenga una zona de sedimentación de igual área superficial (a.l).

Trabajos experimentales hechos por Dobbins⁶ y Fitch⁷, han demostrado que éstas conclusiones son correctas para suspensiones de partículas discretas que sedimentan cuando las condiciones de turbulencia son bajas.



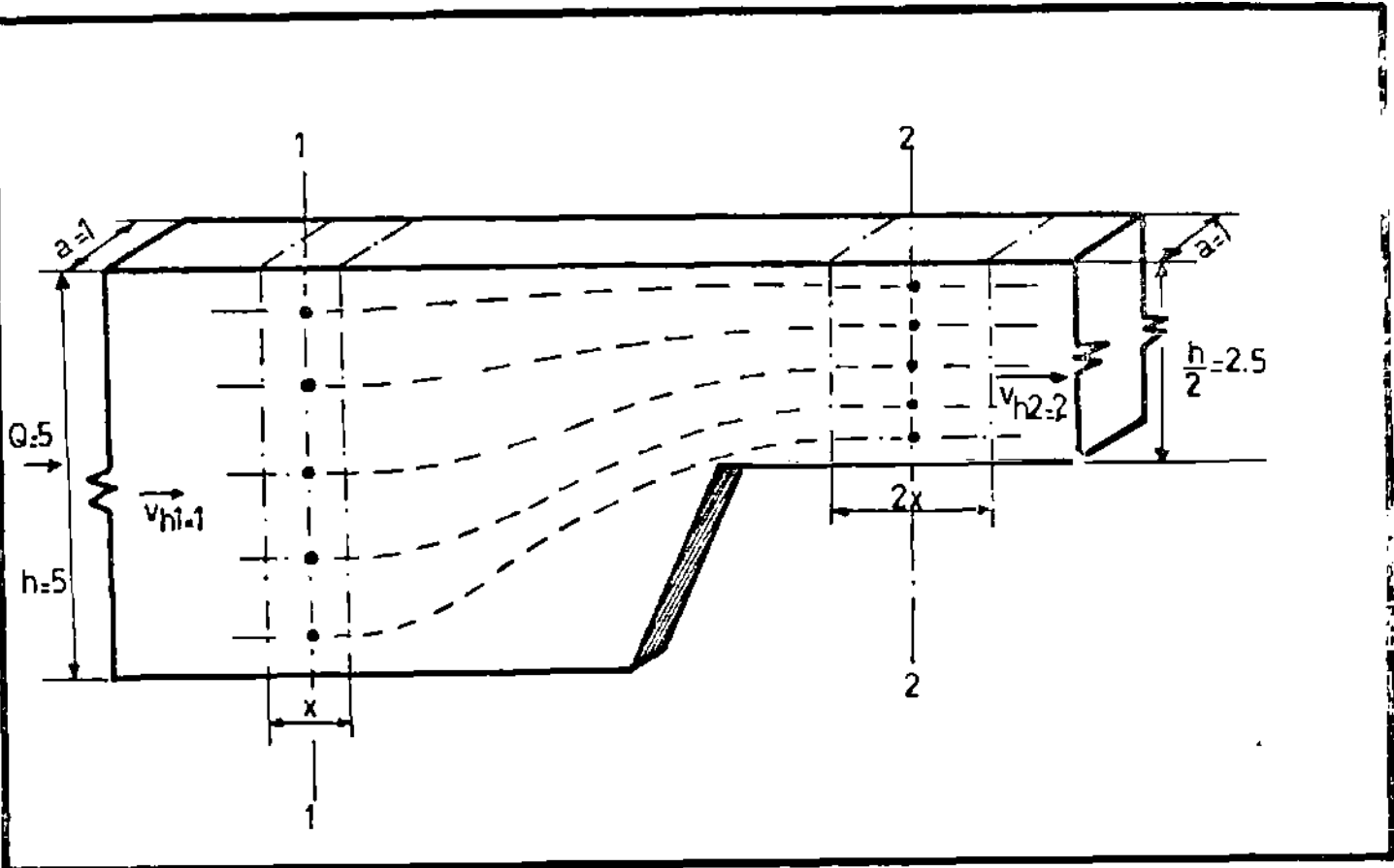
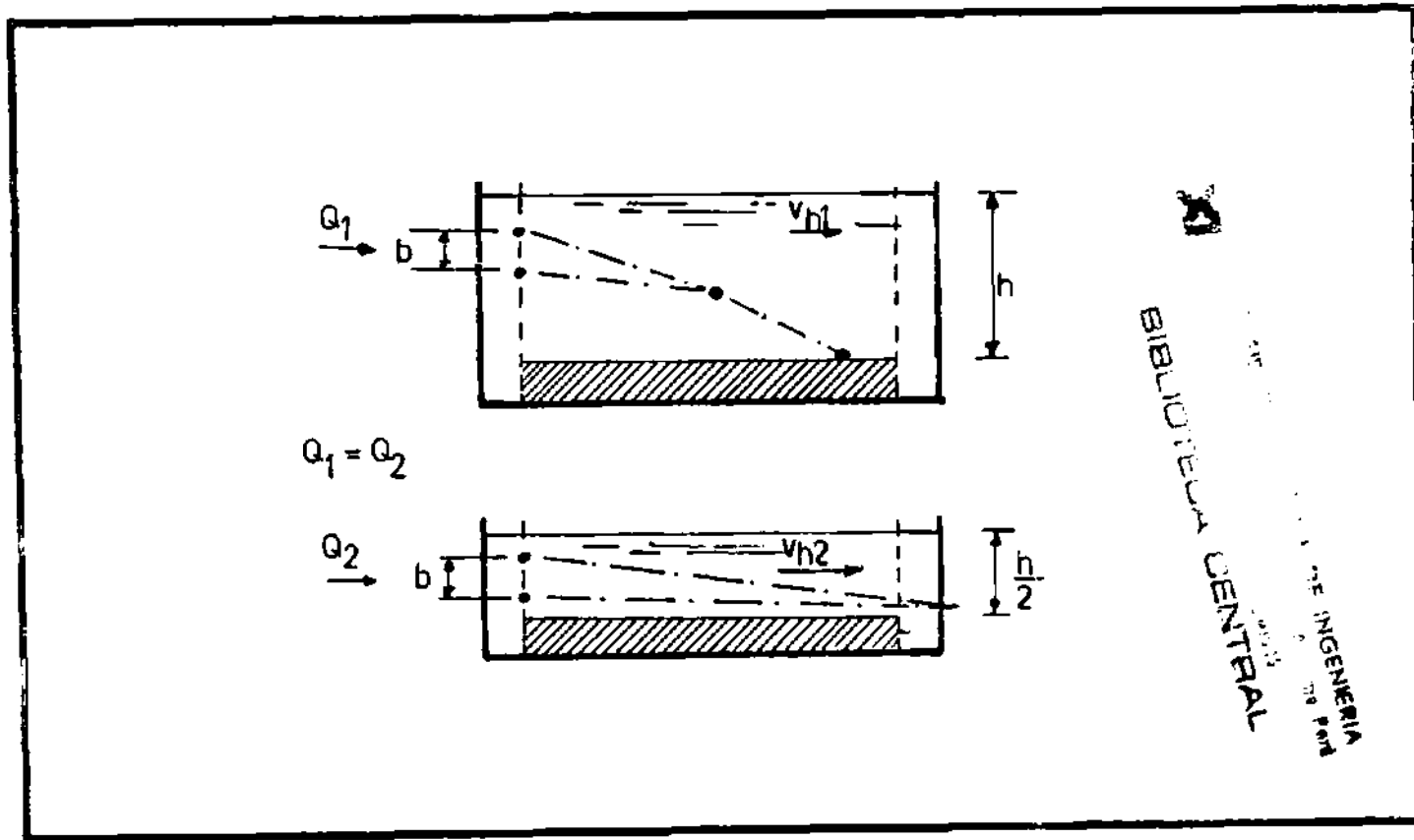


Fig N°7.— Concentración de partículas a dos alturas de flujo



BIBLIOTECA CENTRAL
 DE INGENIERIA

Fig N°8.— Trayectorias de partículas floculantes en tanques ideales con concentraciones constantes

Por otro lado, Ellassen⁸ y Fitch⁹, han indagado la aplicación de las conclusiones de Camp, en lo que respecta a la sedimentación de suspensiones flocculentas.

Observando nuevamente a la Fig.6, se puede ver que si las partículas: F_1 y F_2 , van a encontrarse a la misma distancia l_1 , de la zona de entrada, la distancia vertical inicial que separa las partículas en el tanque (2), debe ser la mitad que la del tanque (1).

La Fig.7, ilustra porqué tan fácilmente se opina así. Pero, haciendo un análisis mas detenido se ve que esto no es correcto. En la Fig.7, hay cinco partículas en la sección 1-1; la concentración de partículas por unidad de volumen será:

$$\frac{5}{h.a.x} \quad \text{y cuando } h=5, \text{ y } a=1, \text{ se tiene:}$$

$$\frac{1}{x} \quad \text{partículas por unidad de volumen.}$$

La velocidad horizontal: v_{h1} , en la sección 1-1, es:

$$\frac{Q}{a.h} \quad \text{que es igual a } 1, \text{ cuando } Q \text{ es igual } 5.$$

En la sección 2-2, la profundidad es igual a la mitad de la sección 1-1, por lo tanto: $v_{h2} = 2$. La concentración de partículas será:

$$\frac{5}{\frac{h.a.2x}{2}} = \frac{1}{x}$$

Se nota que el número de partículas por unidad de volúmen del líquido es exactamente igual en la sección 1-1, y en la 2-2.

La aparente disminución de la distancia vertical entre las partículas, mientras fluyen de la sección 1-1 a la 2-2, es solamente óptica y se debe a que se acostumbra a dibujar las partículas en un perfecto alineamiento vertical.

Actualmente mientras no hay cambio en el número de partículas por unidad de volúmen de agua y mientras nuevas partículas son libremente distribuidas en el líquido, no hay ningún cambio en la distancia promedio entre partículas.

Si la Fig.7, es vuelta a dibujar teniendo en cuenta éste análisis, se puede ver que la profundidad del tanque (periodo de retención), tendrá un efecto muy significativo en la aglomeración y sedimentación de las partículas floculantes. Fig.8.

TRABAJOS DE LABORATORIO

Una forma interesante de estudiar e investigar éstas dos teorías, es mediante el empleo de modelos.

Es importante hacer notar, que hasta ahora solo se han empleado como modelos, tubos sin flujo continuo, es decir, simulando un tanque de llenado y vaciado. Posiblemente se ha mantenido el empleo de éstos modelos por la mayor facilidad que ofrece el armarlos y sobretodo la economía de tiempo que representa en ellos reproducir una experiencia. Pero para ésta experiencia, dada la importancia y la trascendencia que tiene, se buscó acercarse mas a la realidad, decidiéndose usar modelos de tanques de flujo continuo y horizontal.

No solo se pensó en un tanque de flujo continuo, sino que se vió la necesidad de protegerlo de corrientes parásitas, cortos circuitos y por supuesto, se buscó la mayor hermeticidad posible. O sea, que se pensó en un modelo que funcione cerca de las condiciones ideales teóricas de los tanques reales. Para ello contamos con la ayuda económica del Centro de Investigaciones.

Los modelos fueron contruídos en madera y plexiglass, siendo su forma la de un tanque rectangular angosto. Las paredes de mayor área, fueron hechas de plexiglass para facilitar la visi

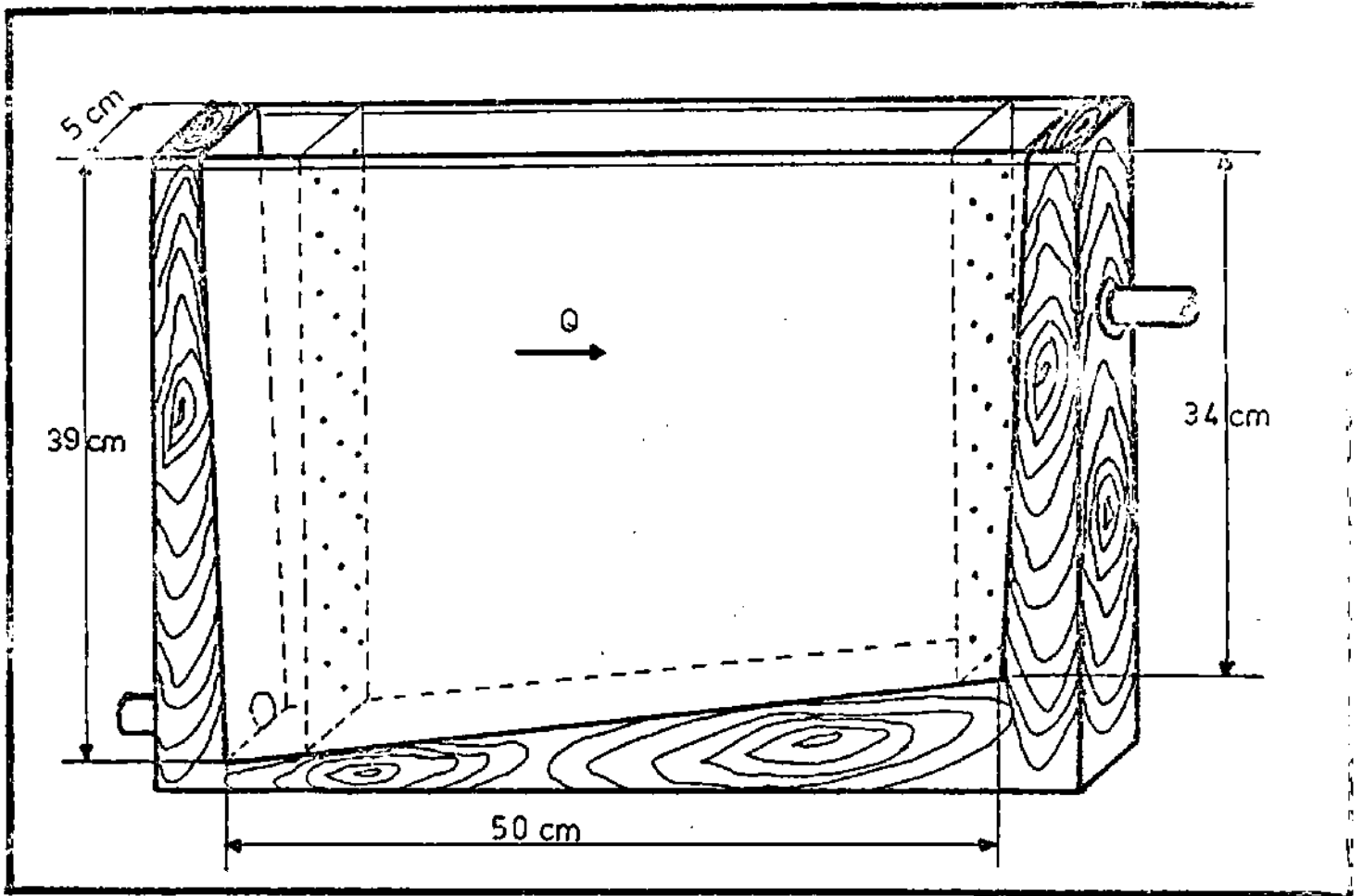


Fig N°9.— Vista general del modelo

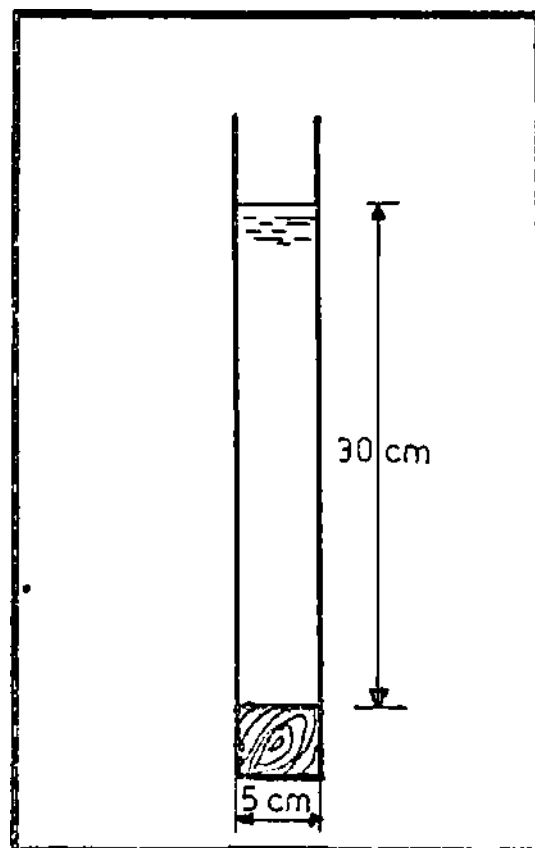



Fig N°10.— Corte transversal del modelo


 UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
 Caracas, V. G.
 BIBLIOTECA CENTRAL DE INGENIERIA
 1971

bilidad del proceso de sedimentación que tenía lugar entre ellas. Las dimensiones de los dos sedimentadores eran iguales, ya que lo que se perseguía era que ambos funcionaran en forma idéntica.

Se hizo trabajar simultáneamente a ambos. Primero con una razón de descarga igual para los dos tanques, lo que nos permitió comprobar la similitud de su comportamiento hidráulico y luego uno trabajó con una carga de agua dada y otro a la mitad de dicha carga a un mismo tiempo; esto con el fin de comprobar las teorías de Camp y Fitch.

Las medidas de los tanques eran las siguientes:

largo	50 cm.
altura máxima	39 cm.
altura mínima	34 cm.
pendiente	10 %
ancho	5 cm. (Fig.9).

Se construyó un tanque angosto con el fin de evitar los cortos circuitos y corrientes parásitas que son tan dañinos y perjudiciales en un proceso de sedimentación. La estrechez de las paredes permitió controlar el flujo, el que se comprobó que fue casi laminar. Este flujo laminar como es sabido, se obtiene debido a la fricción que existe entre el agua y las paredes del recipiente que la contiene. De ésta forma, se consiguió que los modelos se acercaran a las condiciones ideales requeri

das para las pruebas de investigación.

Los sedimentadores tenían una tubería para descarga y otra para rebose. La entrada del agua al tanque, se hacía por medio de un tubo de vidrio el que iba hasta el fondo del tanque y delante del baffle de entrada. Debajo de este tubo, había un pequeño vasito de tal forma, que cuando empezaba a circular el agua, llegaba ésta al vasito por medio del tubo de vidrio, creándose así un flujo ascendente. Este flujo era ascendente y uniforme, lo cual permitió una buena distribución.

CALCULO DEL NUMERO DE REYNOLDS DEL TANQUE.-

Para esta prueba, se llenó el tanque hasta 30 cms. de altura promedio y el rebose daba un gasto de 116 ml/minuto,

Teniéndose : $Q = \frac{116}{60} = 1.93 \text{ ml/seg.}$

$$A_t = 30.5 = 150 \text{ cm}^2.$$

$$v_h = \frac{Q}{A_t} = \frac{1.93}{150} = 0.0129 \text{ cm/seg.}$$

$Q =$ Flujo en el tanque

$A_t =$ Area transversal

$v_h =$ Velocidad horizontal (Fig.10).

Como se puede observar, la velocidad del líquido dentro del tanque, era bajísima lo que ya de antemano nos aseguraba un flujo laminar.

$$N.R. = \frac{\rho \cdot R \cdot v}{u}$$

N.R. = Número de Reynolda

ρ = Densidad del agua

R = Radio Hidráulico del tanque

v = Velocidad

u = Viscosidad absoluta.

$$R = \frac{\text{área transversal}}{\text{perímetro mojado}} = \frac{150 \text{ cm}^2}{65 \text{ cm.}} = 2.31 \text{ cm.}$$

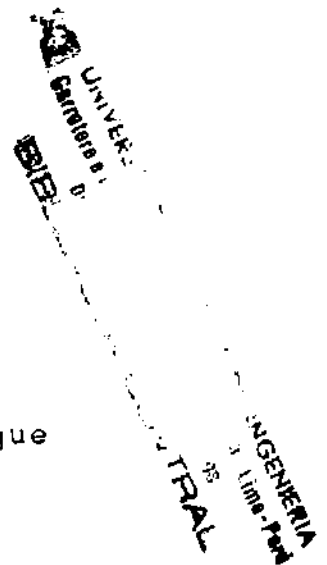
$$N.R. = \frac{1 \times 2.31 \times 0.0129}{0.001949} = 3.31$$

Esto indica que el flujo es netamente laminar y por lo tanto no se presentará turbulencia o corrientes extrañas que puedan perturbar el buen desarrollo del proceso de sedimentación.

PRUEBAS CON COLORANTES.-

Para ésta prueba, la disposición del equipo fue exactamente igual como se ha descrito anteriormente. En la tubería de rebosamiento se acondicionó un vasito, con el fin de visualizar mejor el cambio de color que sufría el efluente. La altura de este vasito nos regularía la carga en el tanque. Este detalle se puede ver mejor en la fotografía N° 6.

Lo primero que se hizo después de estabilizar el nivel de agua



en el tanque, fué regularizar el flujo, para las diferentes pruebas realizadas, este flujo varió entre 113 y 116 mlt/min.

La prueba que se va a describir, tiene los siguientes datos:

Temperatura del agua = 23°C.

$Q = 115 \text{ cm}^3/\text{minuto}$

$$v = \frac{(31.2 + 27.7) \cdot 42 \times 5}{2} = 6.200 \text{ cm}^3$$

$$t = \frac{v}{Q}$$

$$t = \frac{6.200}{115} = 54 \text{ minutos}$$

v = volúmen de agua en el tanque.

t = tiempo de retención en la zona de sedimentación.

Se aplicó el colorante concentrado con una pipeta de 5 mlt. Para tomar esta dosificación, se tuvo en cuenta las pruebas anteriormente realizadas. El colorante usado fue fluorescina. La pipeta se introducía hasta el fondo del vasito ubicado delante del baffle de entrada y poco a poco se iba elevando la pipeta de tal forma, que cuando ésta se encontraba fuera, recién comenzaba la distribución del colorante.

La distribución se manifestaba mediante chorros de colorante que salía a través de los orificios del baffle. Considerándose

BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Lima - Perú
1968

una distribución buena, cuando los chorros en su inicio eran paralelos y de igual tamaño; fotografía N°1.

A los 6 minutos, el color ocupaba la cuarta parte del tanque; fotografía N°2.

A los 9 minutos, se hizo una observación de planta y se pudo constatar el flujo netamente laminar, mostrado por la parábola formada por el colorante en la superficie del tanque, Pl. 11. Pero sin embargo, una observación frontal del tanque nos daba una distribución uniforme; el avance del color se veía como si fuera una línea casi vertical; fotografía N°3.

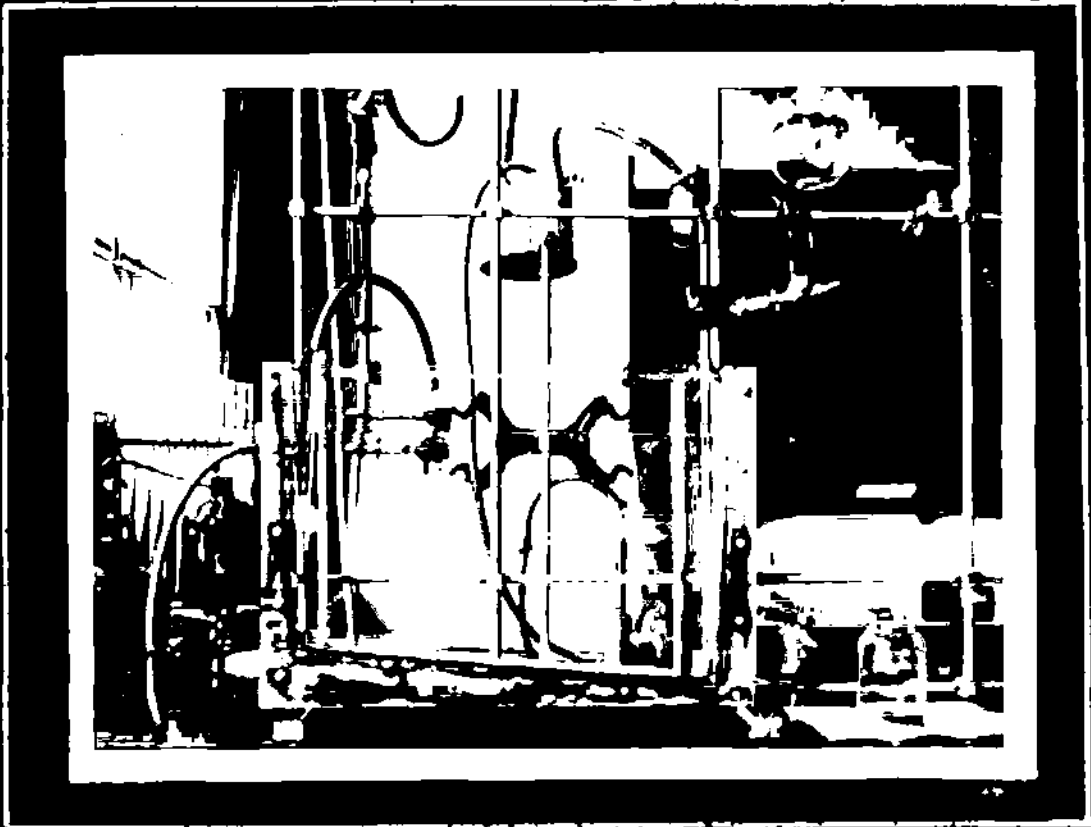
A los 13 minutos, en la mitad del tanque; fotografía N°3.

A los 28 minutos, la distribución completamente uniforme; delante del baffle de entrada no había mas que una pequeña traza de color.

A los 59 minutos, no había color delante del baffle de entrada y todo el color bien distribuido; fotografía N°4.

PREPARACION DE PATRON DE COLORES.-

Con el fin de poder diferenciar los cambios de color que experimentaba el efluente, preparamos un patrón de colores; fotografía N°5.



Fotografía N.º 1



Fotografía N.º 2

1901

1901

1901

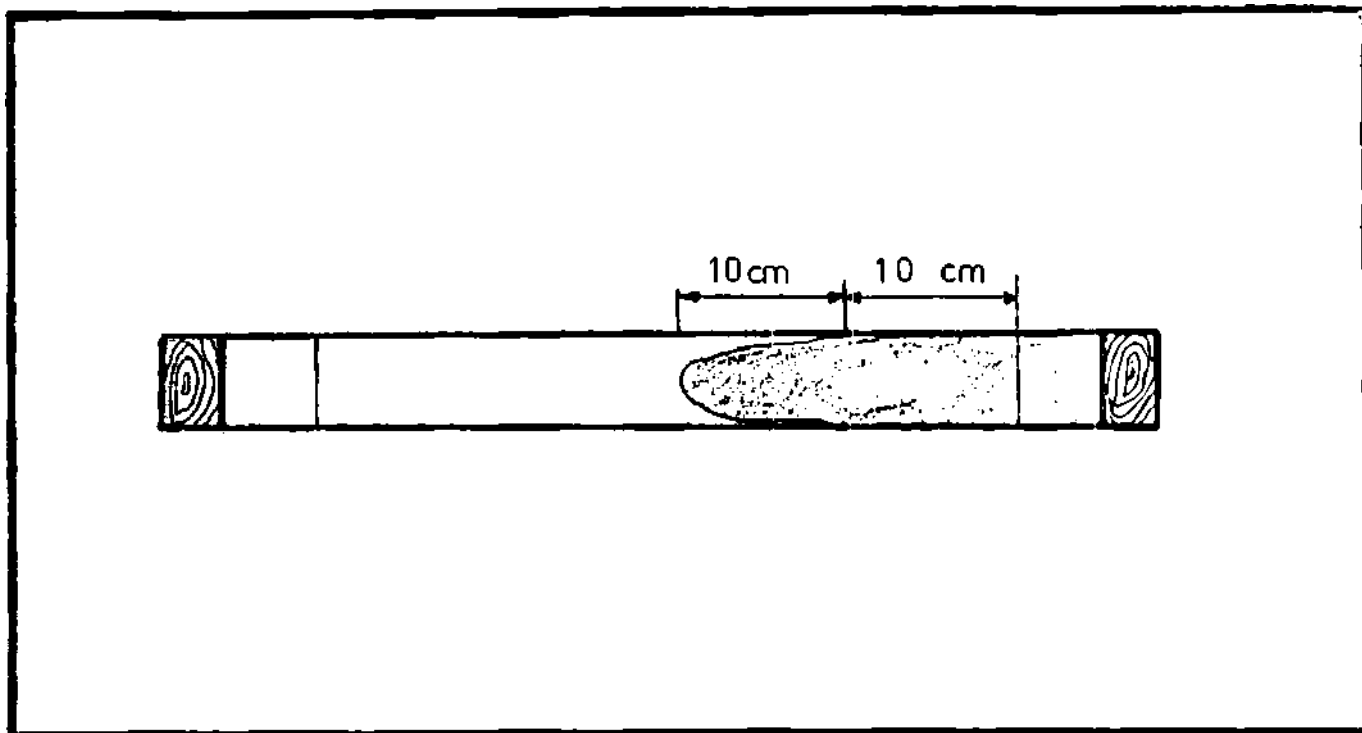


Fig. N°11.— Vista de Planta de la distribución de color en el tanque lleno

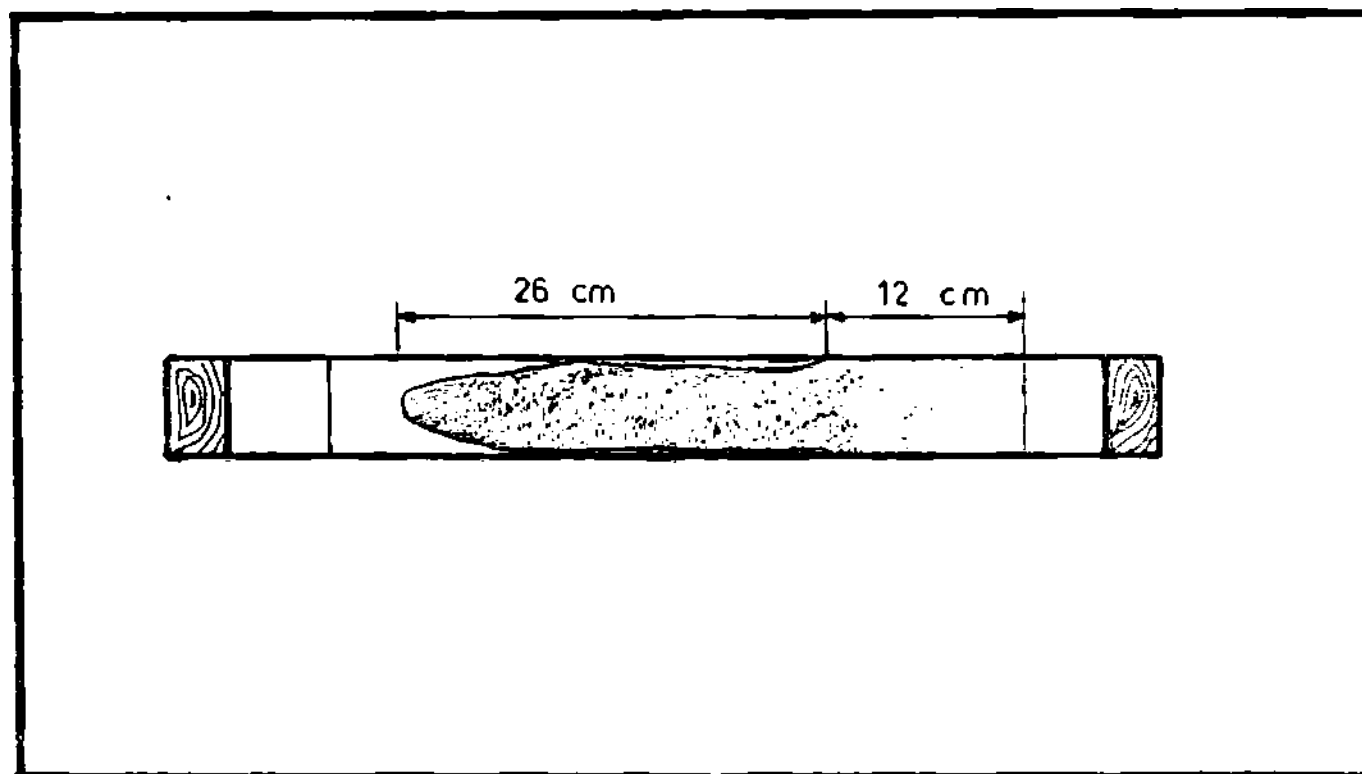
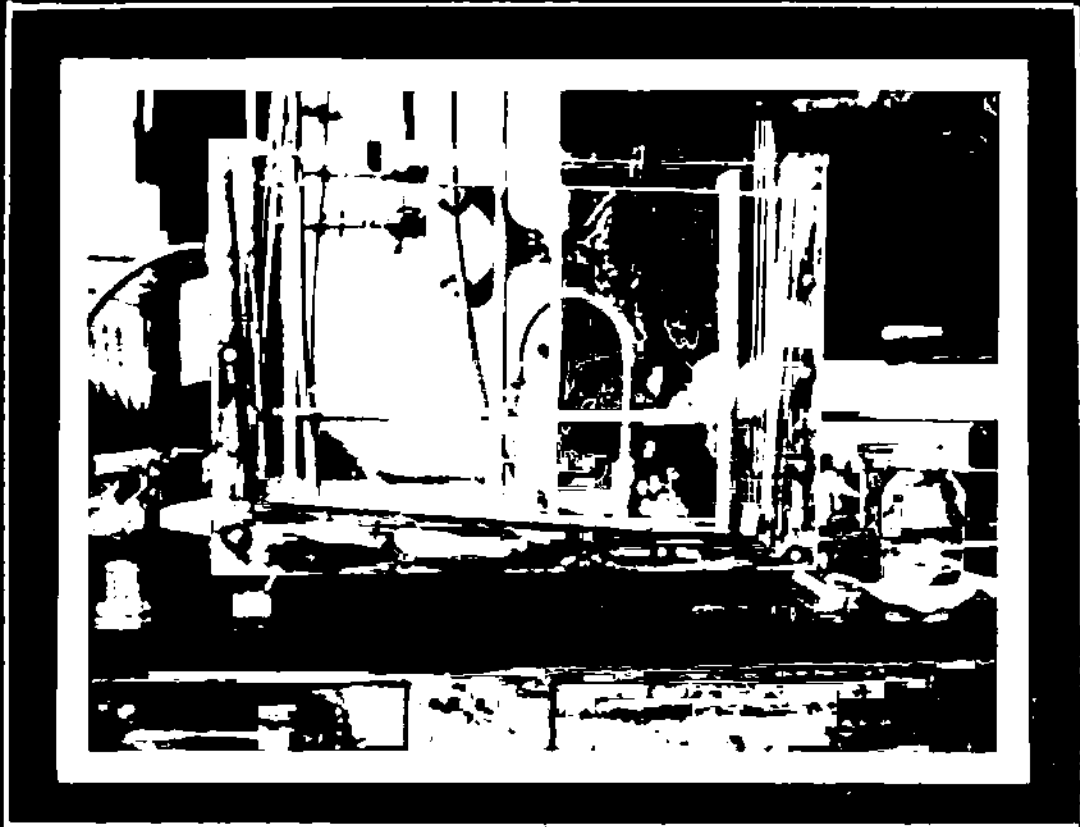
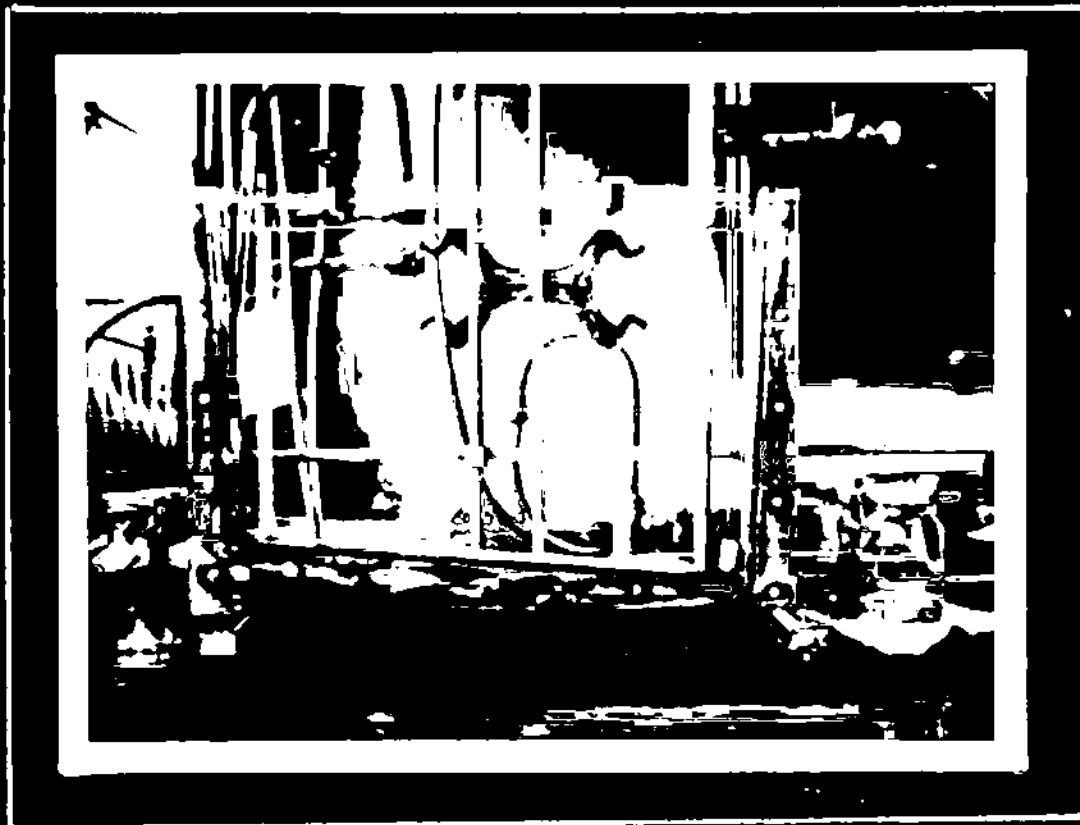


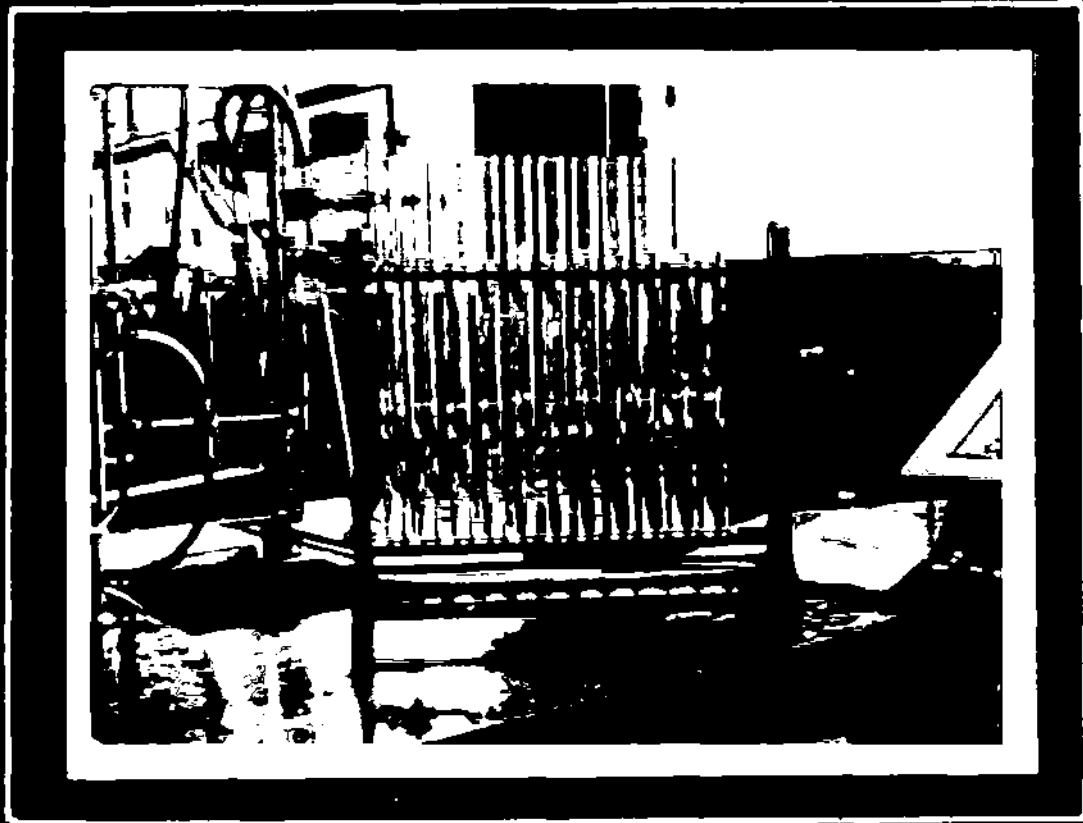
Fig N°12.— Vista de Planta de la distribución de color en el tanque a media altura



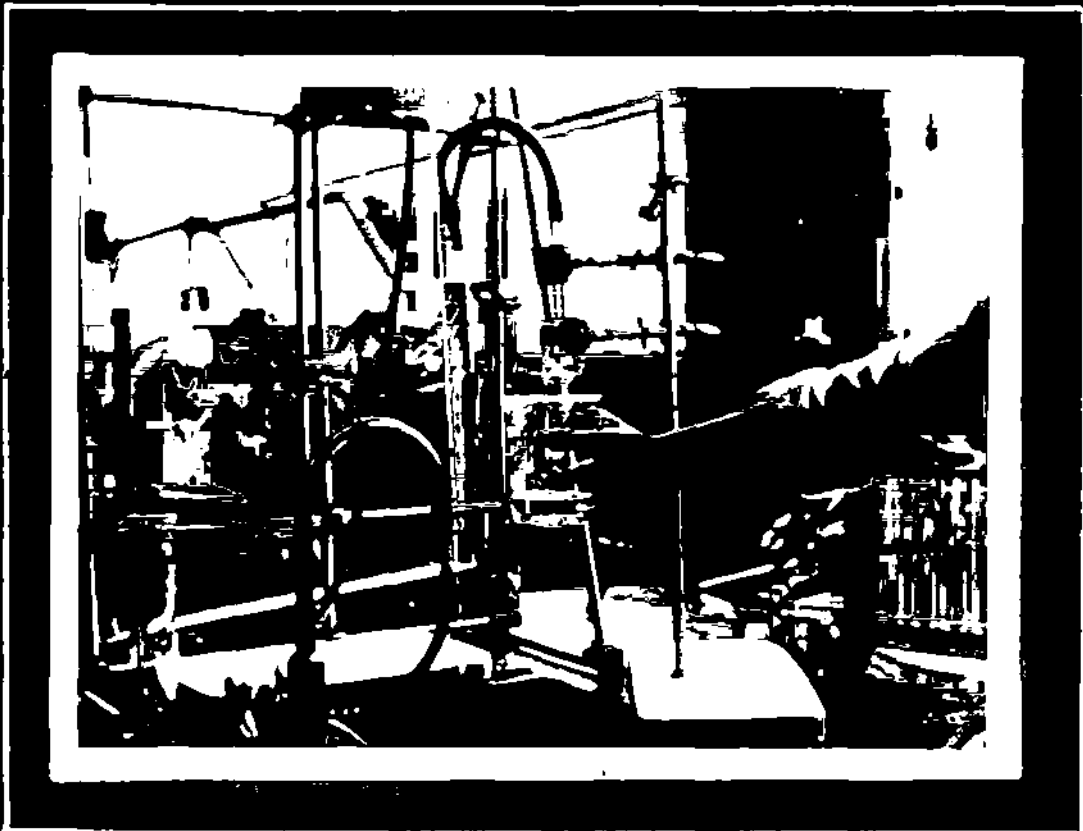
Fotografía N°3



Fotografía N°4



Fotografía N.º 5



Fotografía N.º 6

El patrón se componía de 10 tubos Nessler, de 100 mlts. de capacidad. Para preparar este patrón, se tomó una muestra de color y se hizo varias diluciones, llegando a los colores relativos siguientes:

<u>Número de Tubo</u>	<u>Intensidad de Color Relativo</u>
1	0.030
2	0.045
3	0.083
4	0.248
5	0.395
6	0.495
7	0.650
8	0.740
9	0.895
10	1.000

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
BIBLIOTECA CENTRAL

MUESTREO DEL EFLUENTE.-

Debajo del vasito instalado en el efluente, se colocó un vaso de mayor capacidad y de boca mas ancha, como muestra la fotografía N°6. Esta muestra de efluente era llenado en otro tubo Nessler limpio y vacío, el que se llenaba hasta 100 mlts. Luego este tubo se comparaba con los que estaban en el patrón.

Anotándose luego el número del tubo con el que guardaba mas similitud y también el tiempo en que fué tomada la muestra, computándose éste tiempo a partir del momento en que se aplicó el colorante. Este procedimiento se repetía para diferentes tiempos.

Posteriormente, se hizo otra prueba con colorantes con el agua a media altura del tanque. Para ésta vez, no se pudo regular el Q a 115 mlts/minuto, sino a 112 mlts/minuto.

Los datos son los siguientes:

$$Q = 112 \text{ mlts/minuto}$$

$$V = \frac{(15.7 + 12.4)}{2} \cdot 42 \times 5 = 2950 \text{ cm}^3.$$

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{2950}{112} = 26.4 \text{ minutos.}$$

Se observará que el tiempo de retención es casi la mitad del anterior. También la velocidad se vió alterada pero en forma inversa al tiempo de retención.

$$Q = \frac{112}{60} = 1.87 \text{ mlts/seg.}$$

$$v_h = \frac{Q}{A} = \frac{1.87}{14.5} = 0.0267 \text{ cm/seg.}$$

Objetivamente, se pudo notar éste aumento de velocidad, pues el color avanzaba mas rápido. A los 8 minutos de aplicado el colorante, éste ocupaba las 3/4 partes de la longitud del tan-

que, estando muy cerca del baffle de salida.

La observación de planta, nos dió la parábola de avance mas aguda que la anterior. Fig.12.

Los resultados de estos dos muestreos, aparecen graficados en la Fig.13. Como se puede observar en las dos curvas, la máxima concentración de color, aparece en un tiempo muy cercano al tiempo de retención, lo que revela que el periodo de retención promedio del agua es igual o casi igual, al periodo de retención volumétrico ($\frac{V}{Q}$).

IRUEBAS CON AGUA CALIENTE. -

Se puso a calentar 2 litros de agua hasta la temperatura de 90°C, y se vació en el tanque, procediéndose luego a la aplicación del colorante. Notamos que el colorante iba por la parte inferior del tanque, o sea, que el agua caliente por ser menos densa, ocupaba la parte superior haciendo que el agua mas fría por ser mas densa, fuera a la parte inferior y por ser ésta la que estaba en circulación, era la que arrastraba el colorante. Este detalle se puede observar mejor en la fotografía N°7,, tomada a los 25 minutos de aplicarse el colorante.

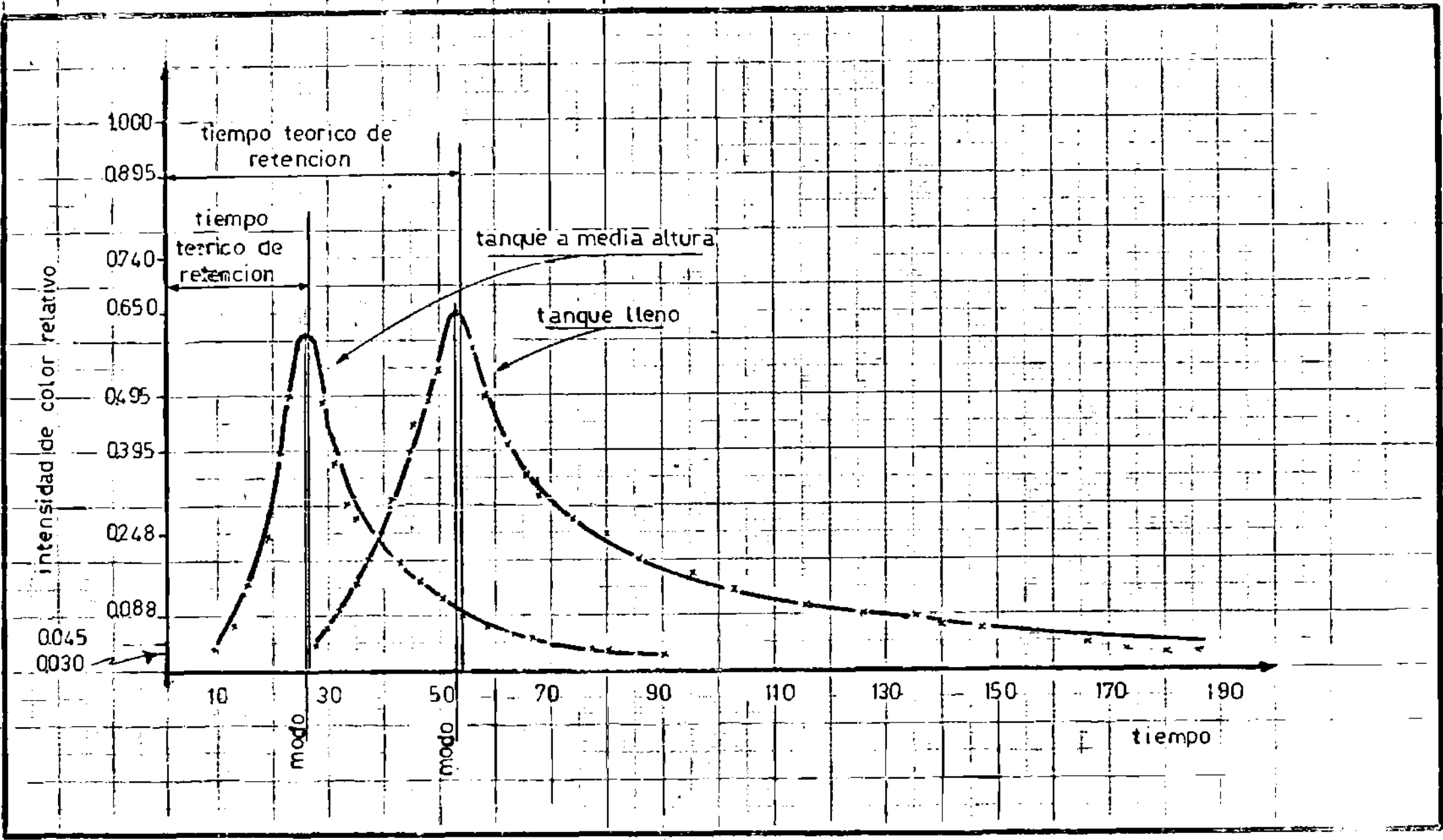
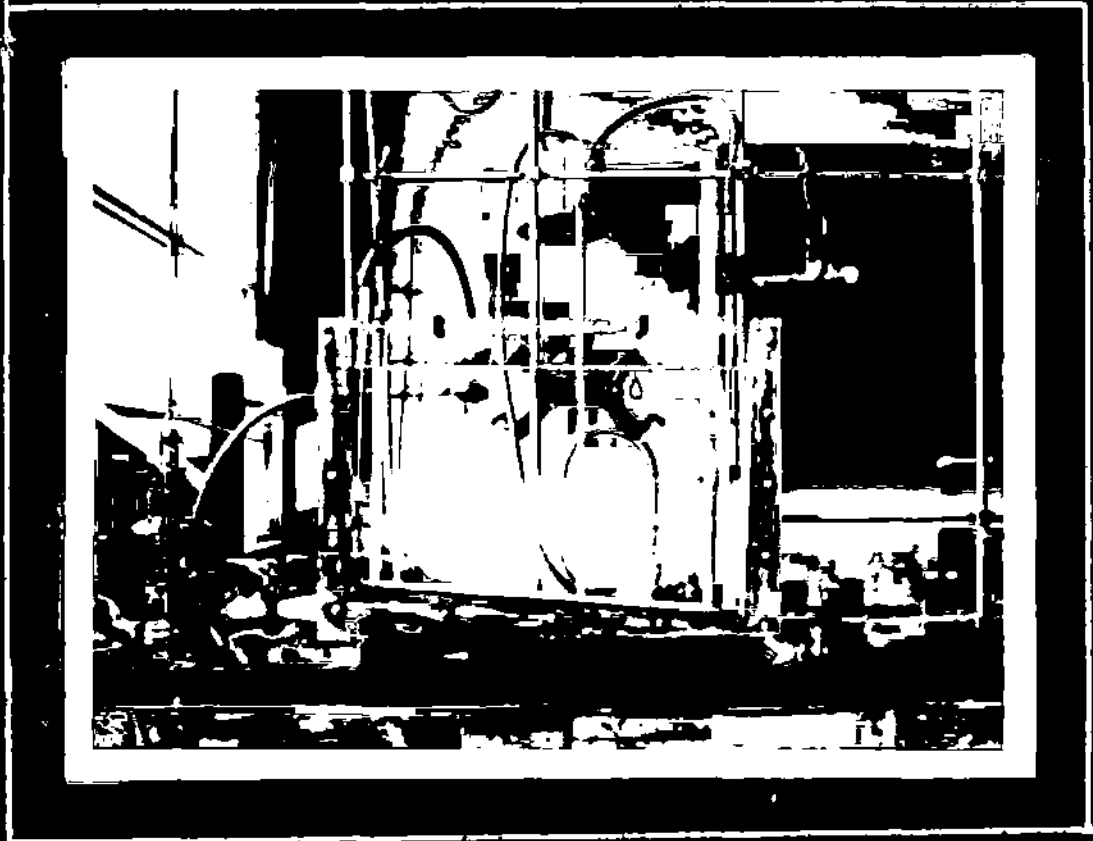
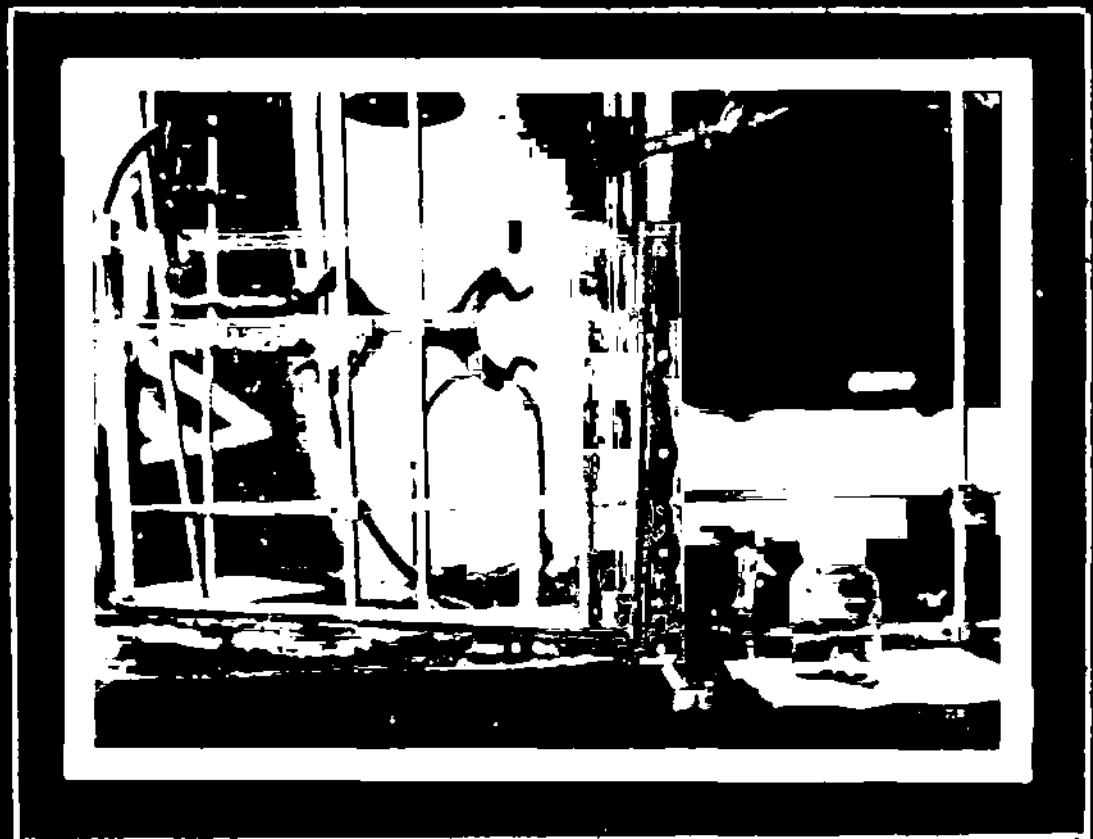


Fig N°13. Curvas del tiempo de desplazamiento del flujo en los modelos como se muestra en las pruebas de colorante.



Fotografía N°7




Fotografía N°8

PRUEBA CON AGUA HELADA.-

Colocamos en el congelador, 1 litro de agua, hasta que alcanza a 12°C , y la echamos en el tanque. Se observó un fenómeno inverso al anterior. El agua helada se fué al fondo del tanque, mientras que en la superficie fluía el agua del caño (23°C), llevando consigo el colorante. La fotografía N^o 4, nos muestra ésta prueba a los 5 minutos de haber aplicado el colorante.

Estas pruebas con agua caliente y agua fría, no tienen importancia para ésta tesis, pero se han efectuado por ser un método útil para demostrar los ciertos circuitos que se producen por diferencias de temperatura.


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
BIBLIOTECA CENTRAL
CALLE 8090 - Lima - Perú

PRUEBA CON AGUA HELADA.-

Colocamos en el congelador, 1 litro de agua, hasta que alcanzara 12°C, y la echamos en el tanque. Se observó un fenómeno inverso al anterior. El agua helada se fué al fondo del tanque, mientras que en la superficie fluía el agua del caño (23°C), llevando consigo el colorante. La fotografía N°8, nos muestra ésta prueba a los 5 minutos de haber aplicado el colorante.

Éstas pruebas con agua caliente y agua fría, no tienen importancia para ésta tesis, pero se han efectuado por ser un método útil para demostrar los ciertos circuitos que se producen por diferencias de temperatura.

PRUEBAS CON FLCCS

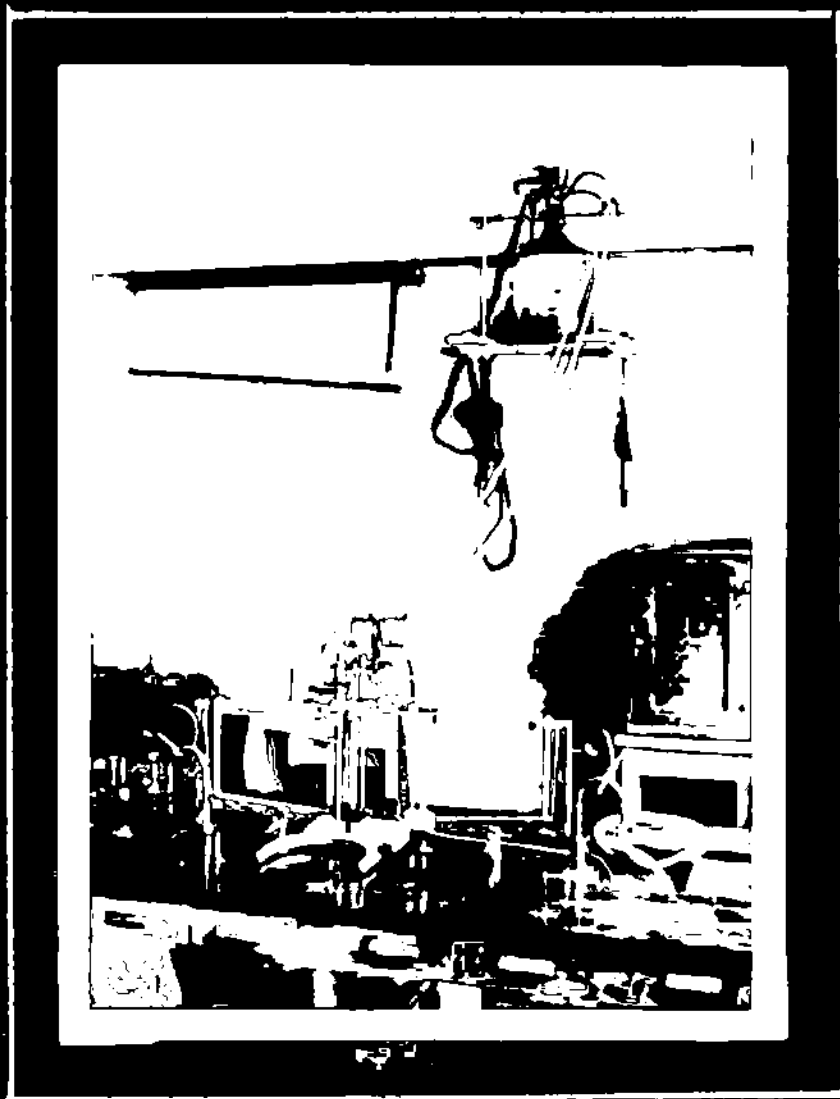
Para esta prueba de flocs, se empleó como coagulantes :

$(SO_4)_3Al_2$ y NaOH ; siendo el punto mas difícil de solucionar la dosificación de éstos coagulantes.

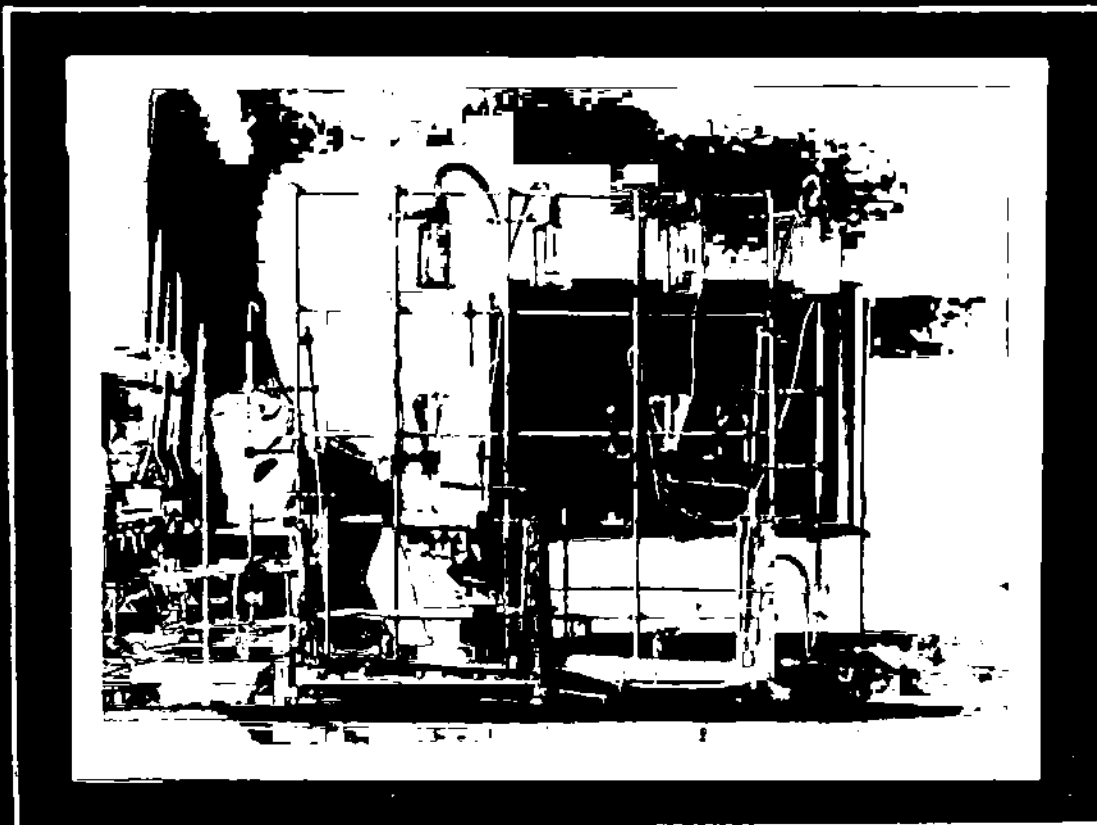
Se intentó tres métodos, los cuales nos llevaron casi dos meses de trabajo, siendo el tercer método como es de suponer, el mas adecuado.

El primer método consistió en el acondicionamiento de un bote - llón de 48 litros de capacidad, en donde se colocó la mezcla de los coagulantes con el agua y en su interior una paleta acciona da por un agitador eléctrico. En éste caso, el problema fué la regulación del gasto a la entrada del tanque y la destrucción de los flocs que se formaban en la botella al pasar por la vál - vula de regulación; esto último debido a la alta velocidad en la válvula. Este equipo se puede ver en la fotografía N°9.

El segundo método, consistió en colocar dos botellas con coagu - lantes para cada tanque. Estas botellas funcionaban como bote - llas Mariott y estaban conectadas a un kitasato invertido. El kitasato a su vez, recibía por su entrada lateral, el agua que entraba con un flujo constante. Para medir el flujo del agua,

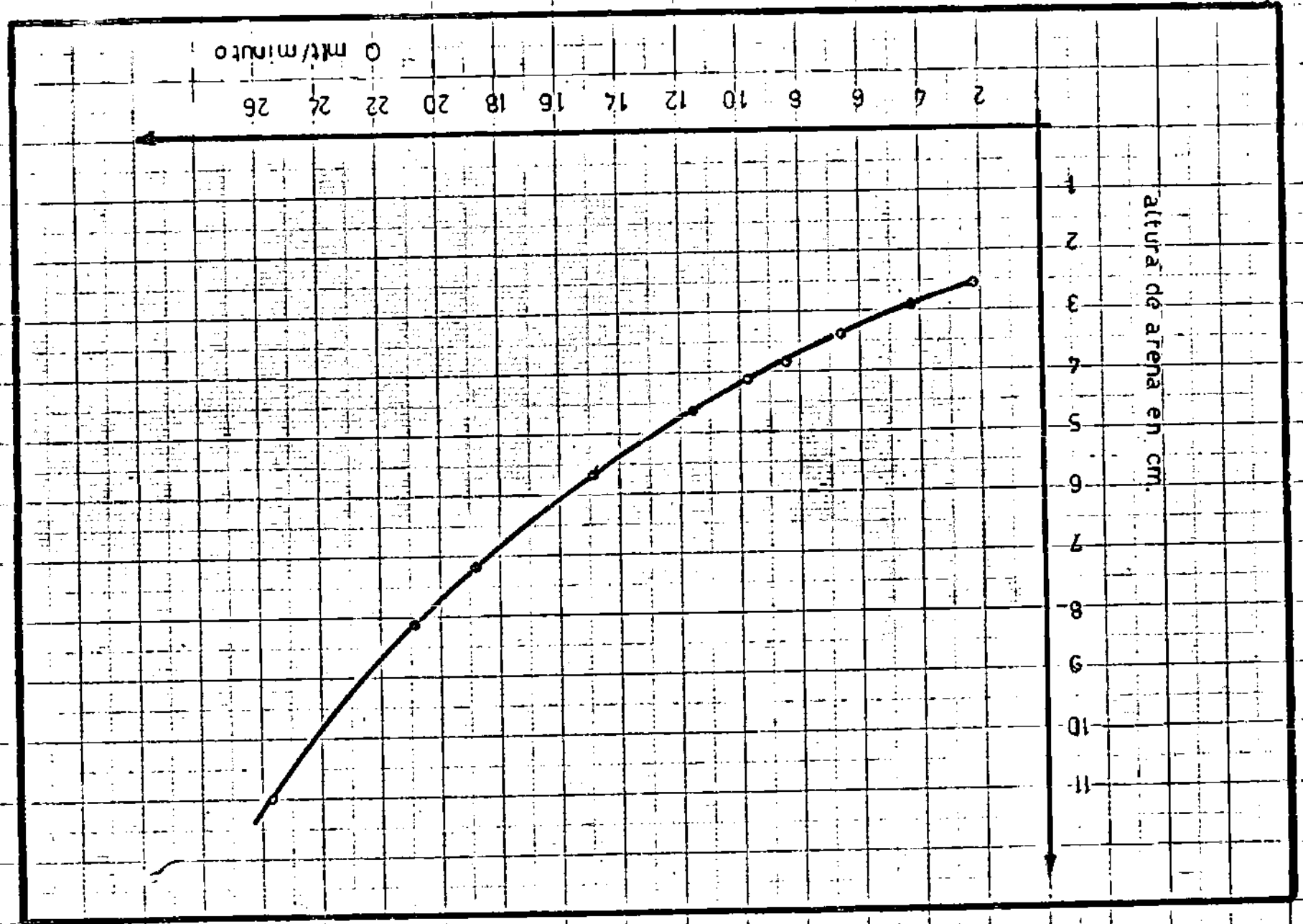


Fotografía N° 9



Fotografía N° 10

Fig. No. 17. Curva de Calibración de un Medidor de Coagulante



se empleó una bureta a la que se le hechó aproximadamente 1 cm. de grava pequeña y 3 cm. de arena de las mallas N°40 y N°50, estando la parte inferior de la bureta, conectada al agua del caño. En la parte superior se colocó un pequeño tapón oradado del que salía una manguerita que conectaba la bureta con el kitasato. La bureta fue calibrada para diferentes flujos. A medida que la arena se elevaba en la bureta, el flujo era mayor. El problema en éste método fué la dosificación de los coagulantes. Mediante una pinza colocada en la manguera que salía de la botella Mariott, se quiso regular el flujo por medio del número de burbujas que salían, pero notamos que este método era muy inexacto; entonces, se decidió preparar unos pequeños medidores para cada botella. Se cogieron pequeños tubos de vidrio de 10 cm. de largo y 7 mm. de diámetro interno. En uno de sus extremos se colocó un disco de plástico con pequeños orificios, luego se les llenó 2 cm. de arena de la malla N°50 y N°70 y se tapó el otro extremo en igual forma que el anterior.

Se construyeron cuatro de estos medidores: 2 para NaOH y 2 para $(SO_4)_3Al_2$. Se calibraron con sus respectivos coagulantes, dibujándose una curva para cada uno, como la curva de la Fig.14.

El suministro del flujo al tanque, era por medio de un tubo de

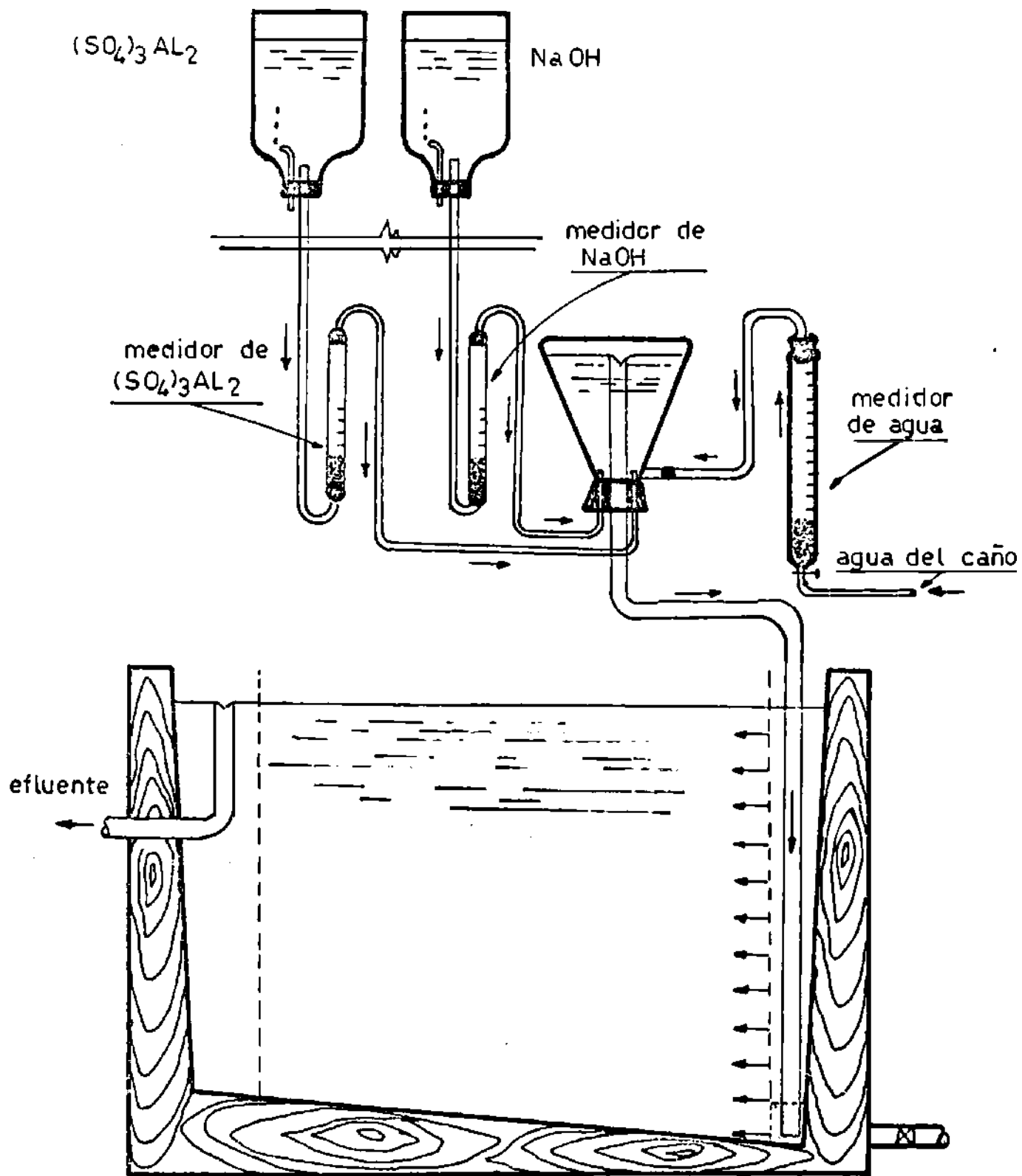
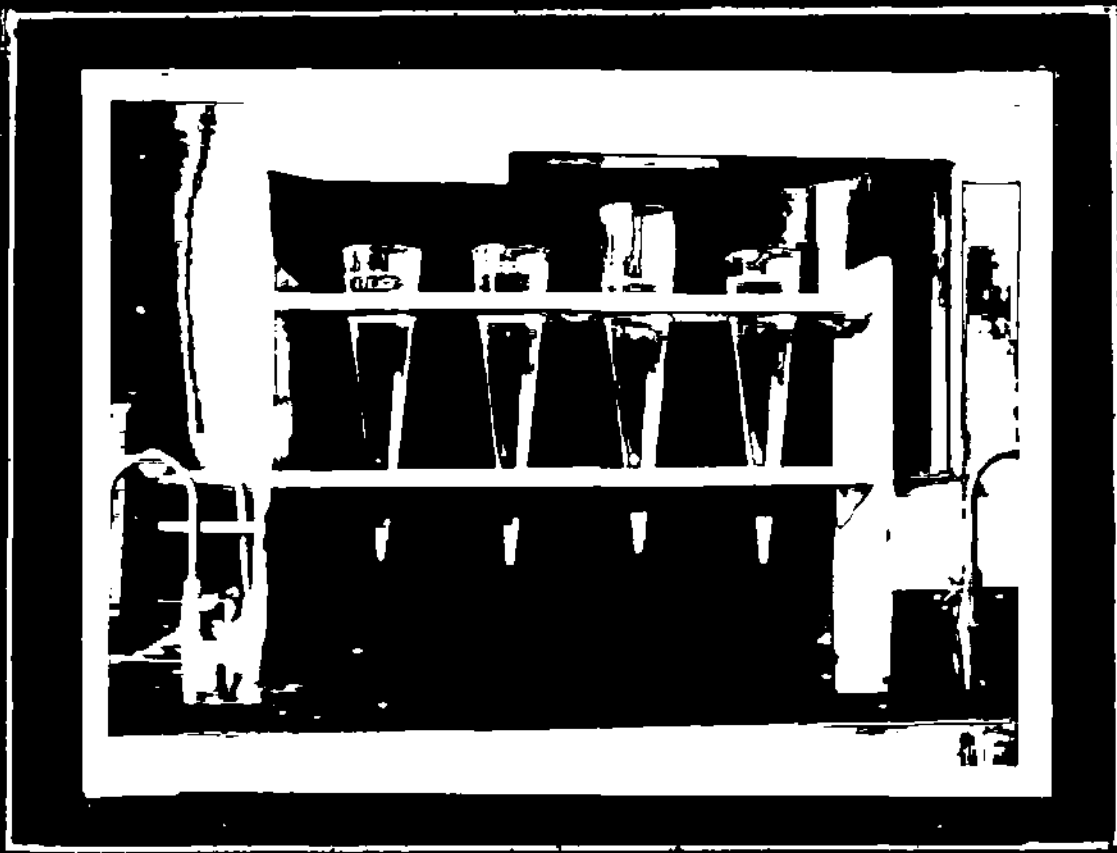
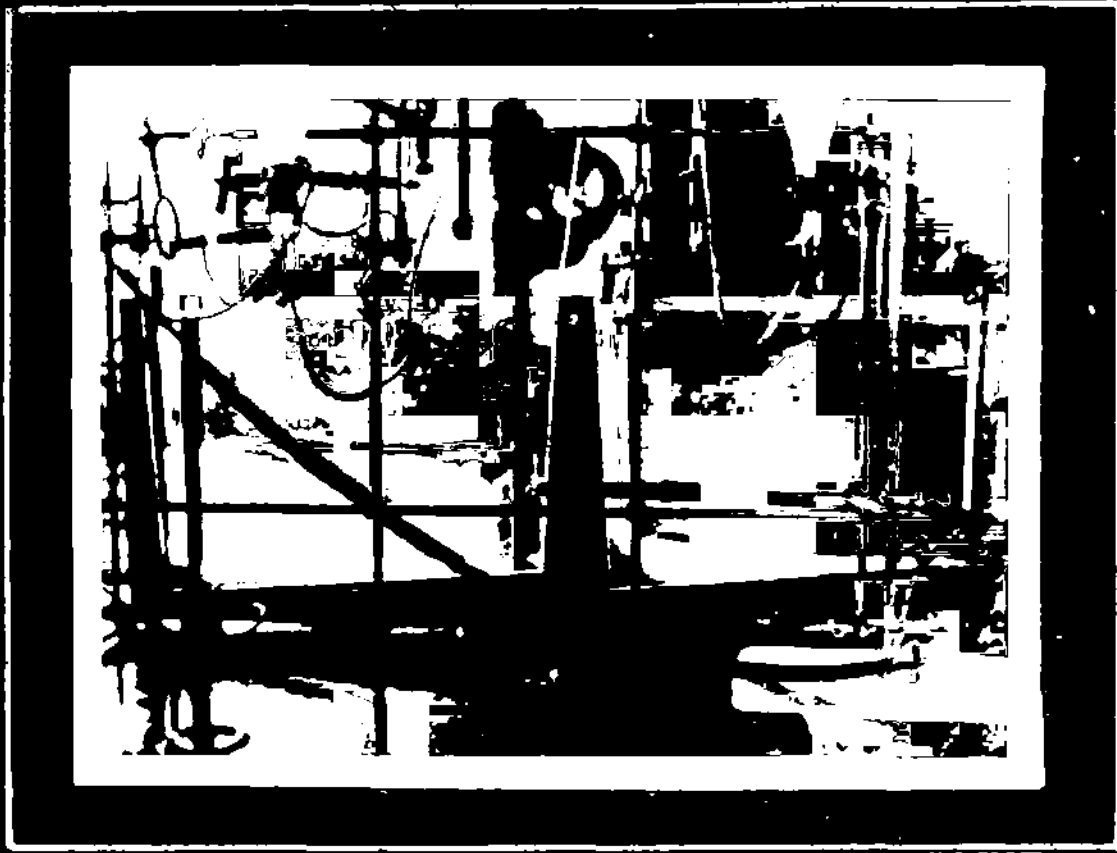


Fig N°15.—Esquema general para la prueba con flocs



Fotografía N°11



Fotografía N°12

vidrio que salía del kitasato y entraba hasta el fondo de la zona de entrada, donde como en el caso anterior, de colorantes, había un vasito que provocaba un flujo ascendente y uniforme. En la Fig.15, se muestra un dibujo esquemático del equipo para un tanque; fotografía N°10.

DOSIFICACION DE CUAGULANTES.-

Tanto para el $(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2$, como para el NaOH, se hicieron patrones cuya concentración era de 100 mgr/mlt. Pero la concentración de las botellas dosificadoras de $(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2$, era de 10 mgr/mlt; mientras que las de NaOH, era de 5 mgr/mlt.

Para un flujo de agua de 150 mlt/minuto, se empleó 7.5 mlt/min. de $(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2$ y 5.7 mlt/minuto de NaOH.

PRUEBAS CON FLOCS.-

Primero se probaron los dos tanques en idénticas condiciones y el muestreo de sus efluentes dió el mismo resultado, fotografía N°11, lo cual decía que ambos tanques tenían la misma eficiencia. Se hicieron un total de 12 pruebas: ocho, variando el nivel de agua en el tanque, o sea, variando el tiempo de retención; y cuatro, cambiando el área superficial y manteniendo constante el tiempo de retención. En todas las pruebas se

hacían trabajar simultáneamente los dos tanques.

PRUEBA VARIANDO EL TIEMPO DE RETENCION Y LA CARGA SUPERFICIAL
CONSTANTE. -

Se hicieron experiencias variando en el tanque N°2, la altura del nivel del agua a la mitad y a 3/4 con respecto a la altura del tanque N°1.

La prueba que se va a describir, es en la que el tanque N°2, trabajó a la mitad de la altura del tanque N°1. El tanque N°1 trabajó con un volúmen de agua igual a 8.4 litros, mientras que el tanque N°2, trabajaba con 4.2 litros, siendo la altura del nivel de agua del tanque N°2, la mitad de la del tanque N°1; pero el área superficial de los dos fueron iguales.

El volúmen de la zona de sedimentación para el tanque N°1, era de 6.825 dm³ y para el N°2, de 3.41 dm³.

Para la prueba que se va a presentar, los datos son los siguientes:

$$Q = 150 + (7.5 + 5) = 162.5 \text{ mltts/segundo.}$$

Tanque N° 1

(altura completa)

$$Q = 162.5 \text{ mlts/segundo}$$

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{6625}{162.5} = 40.8 \text{ minutos}$$

$$t_t = \frac{V_t}{Q} = \frac{8400}{162.5} = 51.7 \text{ minutos}$$

Tanque N° 2

(altura a la mitad)

$$Q = 162.5 \text{ mlts/segundo}$$

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{3412.5}{162.5} = 21.0 \text{ minutos}$$

$$t_t = \frac{V_t}{Q} = \frac{4200}{162.5} = 25.8 \text{ minutos}$$

t = tiempo de retención en la zona de sedimentación.

t_t = tiempo de retención total incluyendo el tiempo en las zonas de entrada y salida.

Se pudo observar que los flocs en el tanque N°2, eran finitos y la longitud de los chorros que éstos producían al atravesar el baffle de entrada, eran mas largos que los que se producían en el tanque N°1.

Este efecto se debió a que la velocidad horizontal en el tanque N°2, era dos veces la del tanque N°1.

A los 30 minutos, la sedimentación en el tanque N°2, era muy pobre y se notaba partículas de flocs en la zona de salida, además que escapaban finos flocs por el rebose. En el tanque N°1, el colchón de sedimentos era mas notorio (de color mas intenso) y no atravesaba el baffle de salida; fotografía N°12.

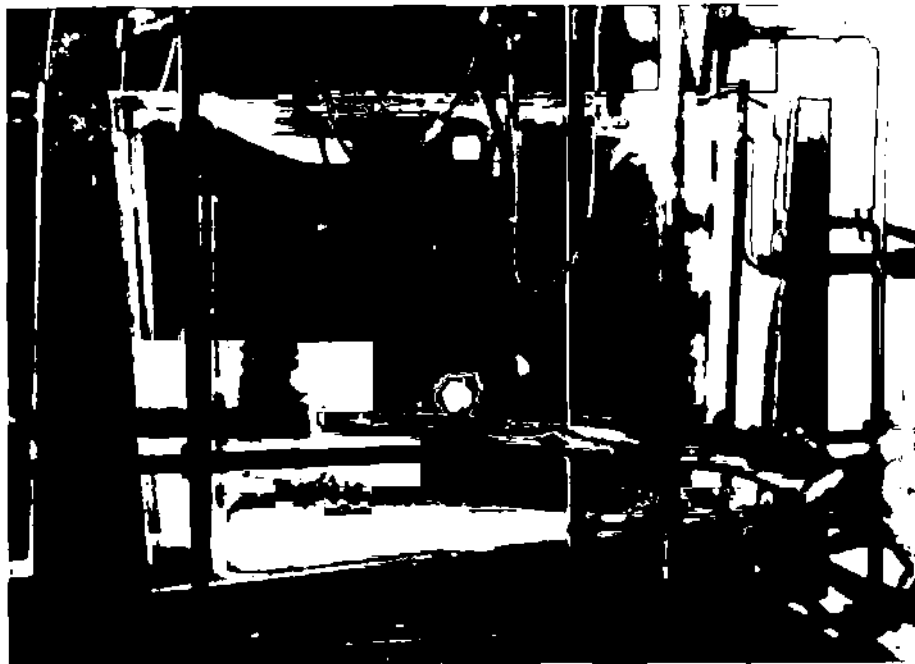
Notamos que mas o menos a los 5 minutos de haber empezado a funcionar el equipo, en ambos tanques se producía una aglomeración de flocs, a la entrada de la zona de sedimentación, creándose corrientes sinusoidales que hacían sedimentar al floc, a una distancia mayor de la que se suponía iba a caer; fotografía N°13.

A los 52 minutos (dos veces el tiempo de retención total), se tomó una muestra del efluente N°2, y la vaciamos a un cono Inhoff de 1 litro de capacidad. Esta misma operación se repitió 52 minutos después, para el tanque N°1.

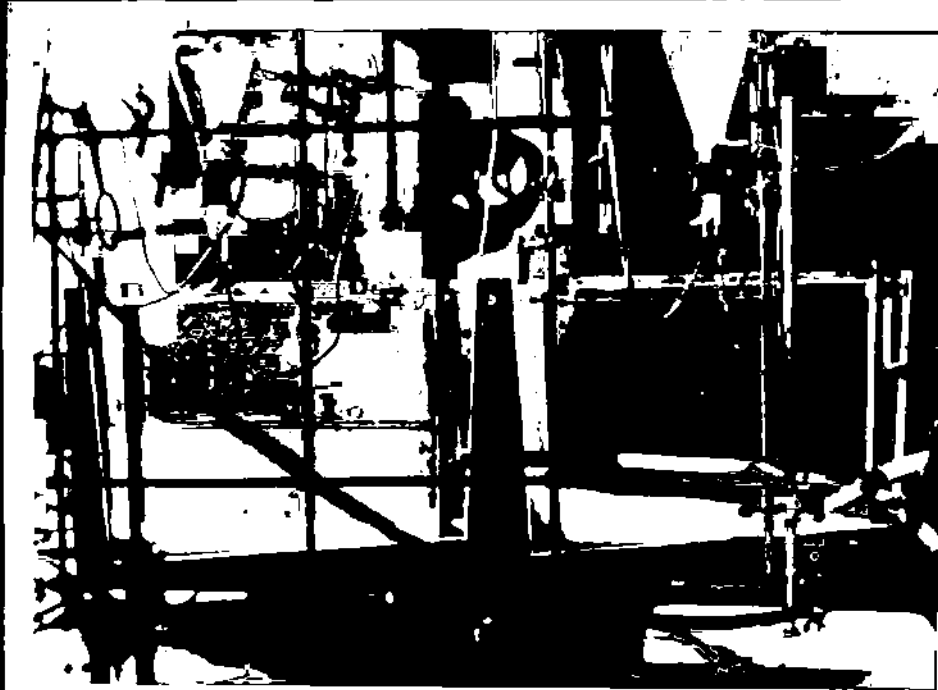
La fotografía N°14, muestra a los dos tanques después de 104 minutos de funcionamiento.

Al día siguiente, observamos los dos conos y el N°2, presentaba mas cantidad de sedimento y pequeñísimos flocs en suspensión.

En la tabla que a continuación se presenta, se dan los resultados de las cuatro pruebas realizadas a media altura.



Fotografía N° 13



Fotografía N° 14

Nº de Frueb.	Nº del Tanque	NAOH cc/min.	(SO ₄) ₃ Al ₂ cc/min,	Agua cc/min.	Tiempo Transcurrido	Vol. de Sedimento en el Efluente en cc.
1	1	7.5	7.5	150	14 hr. 00'	0.2
1	2	"	"	"	17 hr. 52'	3.5
1	1	"	"	"	18 hr. 25'	3.5
1	2	"	"	"	19 hr. 17'	4.0
2	1	5.0	"	"	17 hr. 00'	2.0
2	2	"	"	"	17 hr. 52'	9.5
2	1	"	"	"	18 hr. 25'	2.5
2	2	"	"	"	19 hr. 17'	9.5
3	1	"	"	"	16 hr. 30'	2.0
3	2	"	"	"	17 hr. 22'	5.0
3	1	"	"	"	18 hr. 30'	2.0
3	2	"	"	"	19 hr. 22'	6.5
4	1	"	"	136	16 hr. 30'	1.25
4	2	"	"	"	17 hr. 22'	4.50
4	1	"	"	"	19 hr. 22'	1.50
4	2	"	"	"	20 hr. 30'	5.0
4	1	"	"	"	20 hr. 22'	1.75
4	2	"	"	"	21 hr. 30'	5.50

Eficiencia :

El tanque N^o1, presentó una remoción igual al 96%

El tanque N^o2, presentó una remoción igual al 88%

Para las pruebas a 3/4 de altura, se siguió el mismo procedimiento y los resultados de estas cuatro pruebas realizadas, fueron :

Nº de Prueb.	Nº del Tanque	NAOH cc/min.	$(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2$ cc/min.	Agua cc/min.	Tiempo Transcurrido	Vol. de Sedimento en el Efluente en cc.
1	1	4.16	6.25	125	16 hr. 30'	0.7
1	2	"	"	"	17 hr. 00'	1.5
1	1	"	"	"	18 hr. 30'	0.8
1	2	"	"	"	19 hr. 00'	1.4
1	1	"	"	"	20 hr. 30'	0.9
1	2	"	"	"	21 hr. 00"	2.5
2	1	"	"	"	16 hr. 30'	0.3
2	2	"	"	"	17 hr. 00'	4.0
2	1	"	"	"	17 hr. 45'	0.4
2	2	"	"	"	18 hr. 15'	4.0
2	1	"	"	"	19 hr. 04'	0.35
2	2	"	"	"	19 hr. 39'	3.75
3	1	"	"	"	16 hr. 30'	0.1
3	2	"	"	"	17 hr. 00'	2.25
3	1	"	"	"	17 hr. 45'	0.1
3	2	"	"	"	18 hr. 15'	3.0
3	1	"	"	"	19 hr. 04'	0.3
3	2	"	"	"	19 hr. 34'	2.6
4	1	"	"	"	16 hr. 20'	1.0
4	2	"	"	"	16 hr. 50'	2.5
4	1	"	"	"	18 hr. 30'	1.5
4	2	"	"	"	19 hr. 00'	3.0
Volumen de Sedimento en el Efluente					14 hr. 00'	30.0

Eficiencia :

El tanque N°1, observa una eficiencia de 96.54%

El tanque N°2, observa una eficiencia de 90.15%.

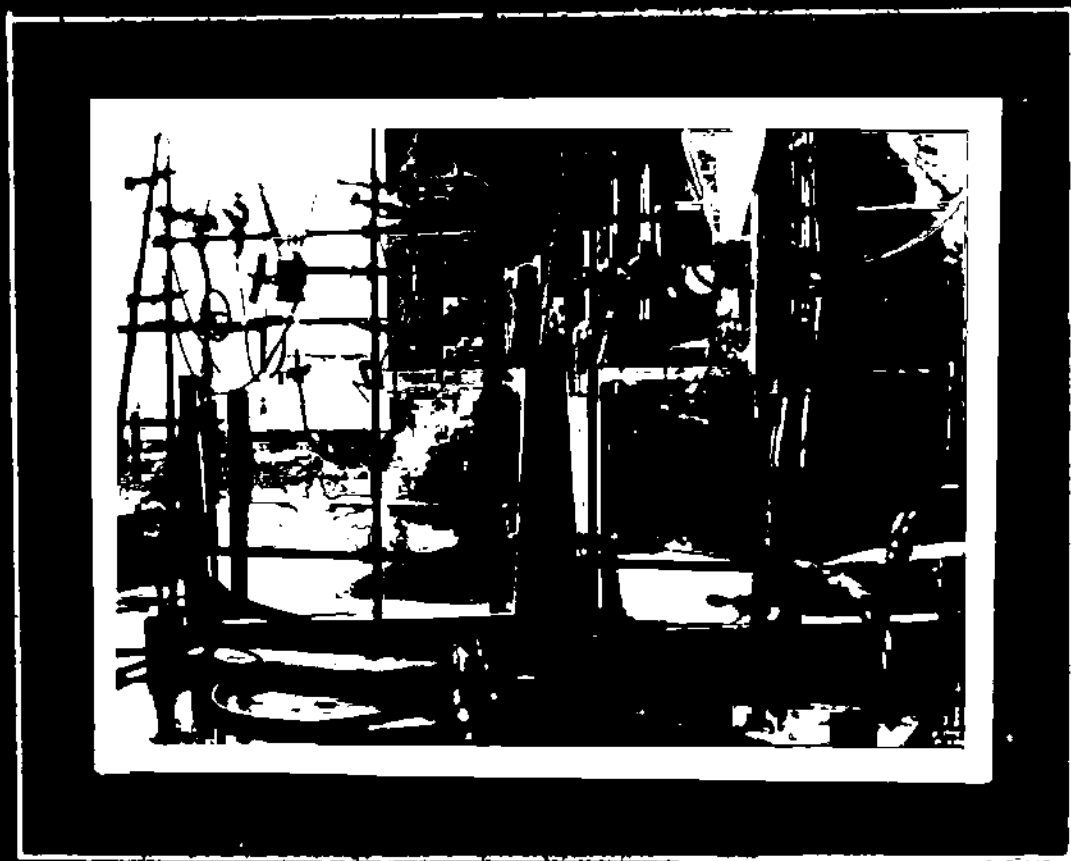
PRUEBA VARIANDO EL AREA SUPERFICIAL.-

También aquí se hicieron dos tipos de pruebas; primero, dos pruebas variando en el tanque N°1, el área superficial a la mitad, y luego a la 3/4 partes con respecto al tanque N°2, cuya área superficial no se alteró.

La prueba que se va a describir, es aquella en la que al tanque N°1, se le redujo el área superficial a la mitad, mediante una tira de madera balsa, semejante a un baffle sin orificios. El acondicionamiento del tanque para ésta prueba, se puede ver en la fotografía N°15.

La altura de agua para el tanque N°1, se conservó igual que para la prueba anterior (altura completa), lo mismo que el tanque N°2, que trabajó a media altura. C sea, que el periodo de retención, era igual para los dos tanques; sólo se varió el área superficial.

Durante la prueba, se observó que los chorros de flocs en el



Fotografía N°15

tanque N°1, eran mas cortos y la trayectoria era casi vertical, mientras que en el tanque N°2, la trayectoria era mas amplia, los chorros eran mas largos y los flocs mas finos.


Se notó en ambos, el fenómeno anterior de aglomeración de partículas y las corrientes sinusoidales que los arrastraban.

A los 10 minutos de funcionamiento, el tanque N°1, ya presentaba el colchón de sedimentos, mientras que en el tanque N°2, recién a los 20 minutos empezó a formarse.

Cumplidos los 52 minutos de funcionamiento para ambos tanques, se tomó una muestra del efluente.

Después de terminada la prueba, se vió que la superficie de agua en el tanque N°1, era mas transparente que en el tanque N°2.

En la siguiente tabla, aparecen los resultados de las dos pruebas :


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
CALLE ARAUCO 1301 TEL. 422000 - LIMA PERÚ
CENTRAL

Nº de Prueb.	Nº del Tanque	NAOH cc/min.	(SO ₄) ₃ Al ₂ cc/min.	Agua cc/min.	Tiempo Transcurrido	Vol. de Sedimento en el Efluente en cc.
1	1	5.0	7.5	150	16 hr. 00'	2.0
1	2	"	"	"	16 hr. 47'	5.0
1	1	"	"	"	18 hr. 00'	5.0
1	2	"	"	"	18 hr. 47'	5.0
1	1	"	"	"	21 hr. 30'	5.0
1	2	"	"	"	22 hr. 17'	6.5
2	1	4.3	6.5	136	16 hr. 30'	5.0
2	2	"	"	"	17 hr. 17'	6.0
2	1	"	"	"	17 hr. 30'	5.0
2	2	"	"	"	18 hr. 17'	6.25
2	1	"	"	"	18 hr. 30'	5.00
2	2	"	"	"	19 hr. 17'	6.25
Volúmen de sedimento en el efluente					16 hr. 00'	50.00

Eficiencia :

El tanque N^o1, presentó una remoción igual al 90%

El tanque N^o2, presentó una remoción igual al 87.2%

Para la prueba en la que se trabajó, con las $3/4$ partes de la longitud del tanque, se tuvo los siguientes resultados :

Nº de Prueb.	Nº del Tanque	NAOH cc/min.	$(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2$ cc/min.	Agua cc/min.	Tiempo Transcurrido	Vol. de Sedimento en el Efluente en cc.
1	1	4.16	6.25	125	16 hr. 30'	0.4
1	2	"	"	"	17 hr. 17'	0.5
1	1	"	"	"	18 hr. 00'	0.6
1	2	"	"	"	18 hr. 47'	0.8
1	1	"	"	"	22 hr. 00'	1.5
1	2	"	"	"	22 hr. 47'	2.0
2	1	"	"	"	16 hr. 00'	0.4
2	2	"	"	"	16 hr. 47'	0.5
2	1	"	"	"	18 hr. 00'	0.5
2	2	"	"	"	18 hr. 47'	0.8
2	1	"	"	"	22 hr. 00'	1.5
2	2	"	"	"	22 hr. 47'	1.5
Volúmen de sedimento en el efluente					18 hr. 00'	30.00

Eficiencia :

El tanque N°1, presentó una eficiencia de 95%

El tanque N°2, presentó una eficiencia de 94.2%.

C O N C L U S I O N E S

1. En un tanque de flujo y concentración de sólidos, constante, la distancia promedio entre las partículas a la entrada del tanque, es la misma a cualquier altura de agua en el tanque, siendo el número de partículas por unidad de volúmen, siempre el mismo; no importa la altura de agua o la velocidad horizontal.
2. El periodo de retención, tiene mas influencia que la tasa superficial en la remoción de partículas flocculantes, ya que al aumentar éste, las partículas permanecen mas tiempo en la zona de sedimentación, permitiendo un mayor contacto entre ellas.

En caso contrario, o sea que el periodo de retención fuese mas bajo, las partículas tienen mas posibilidad de salir de la zona de sedimentación sin haber tocado el fondo de ella. Esto debido a que son arrastradas por la v_h , del agua, que crece inversamente al periodo de retención. Por lo tanto, esta conclusión demuestra que el parámetro principal para el diseño de tanques de sedimentación para partículas flocculantes, es tiempo de retención.

3. Durante el proceso de sedimentación, se observó un conglomerado de partículas en la entrada inferior de la zona de sedimentación. Estas partículas así aglomeradas ocasionaban una sedimentación interferida o "hindered settling", que hacía que las partículas sedimenten a una distancia mayor de la prevista. Fig. 16. Esto se debe a que cuando la partícula llega a ésta zona, su trayectoria de sedimentación se vé interrumpida y desviada por las pequeñas corrientes de agua que generan esas partículas al tratar de sedimentar, en la zona de "hindered settling". Entonces la partícula sedimentante cuya trayectoria se vé interrumpida, es desplazada por la v_h del agua, a una distancia mayor.

4. Entre los límites de las pruebas realizadas se ha notado:

Que cuando se cambia la carga superficial de un tanque conservando su volúmen constante, los efectos de ésta variación en la eficiencia del tanque, son mínimas. Y parece que aquí la altura de agua tiene un efecto, es decir, a mayor altura-mayor eficiencia, entendiéndose que ésta altura está íntimamente relacionada con el periodo de retención.

Una investigación del efecto de la altura, sería adecuado para futuros trabajos de investigación.

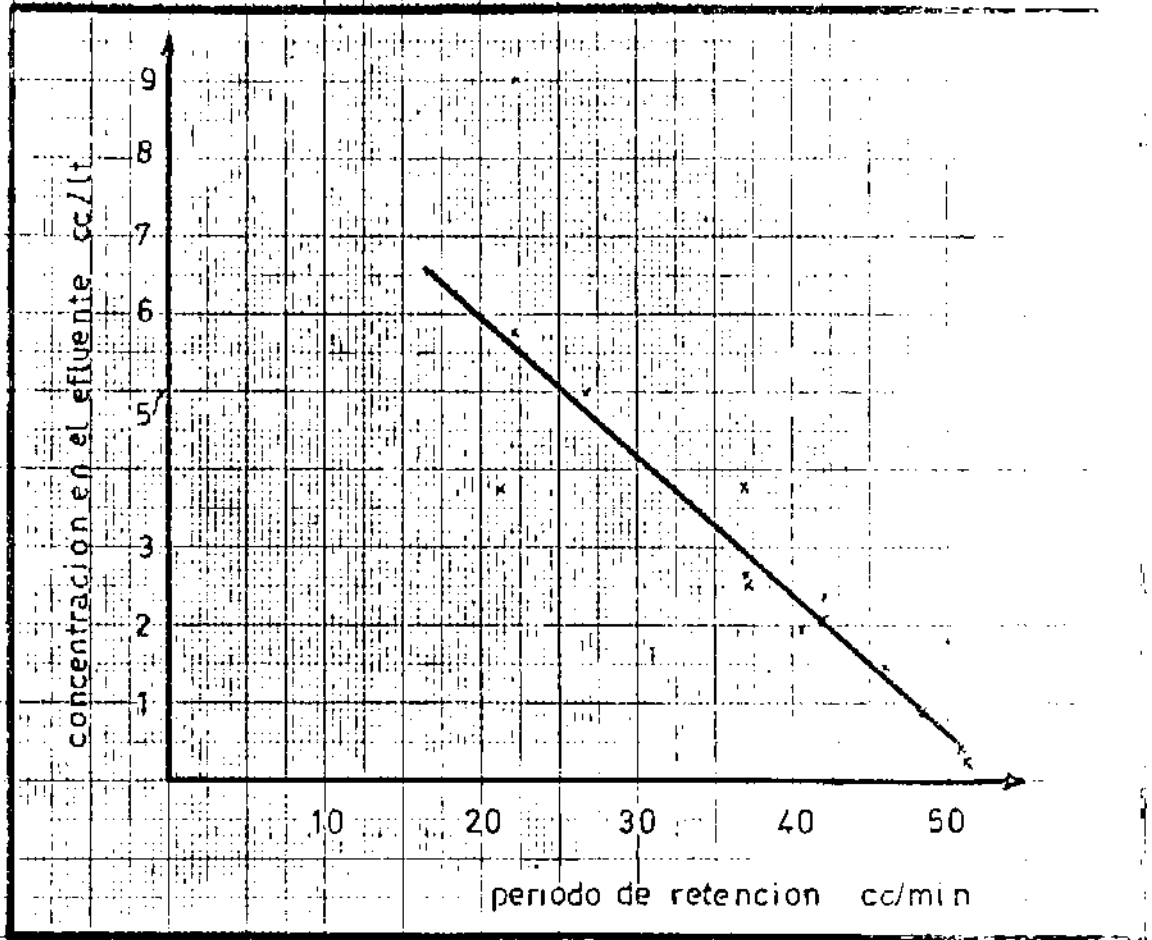


Fig. N° 17

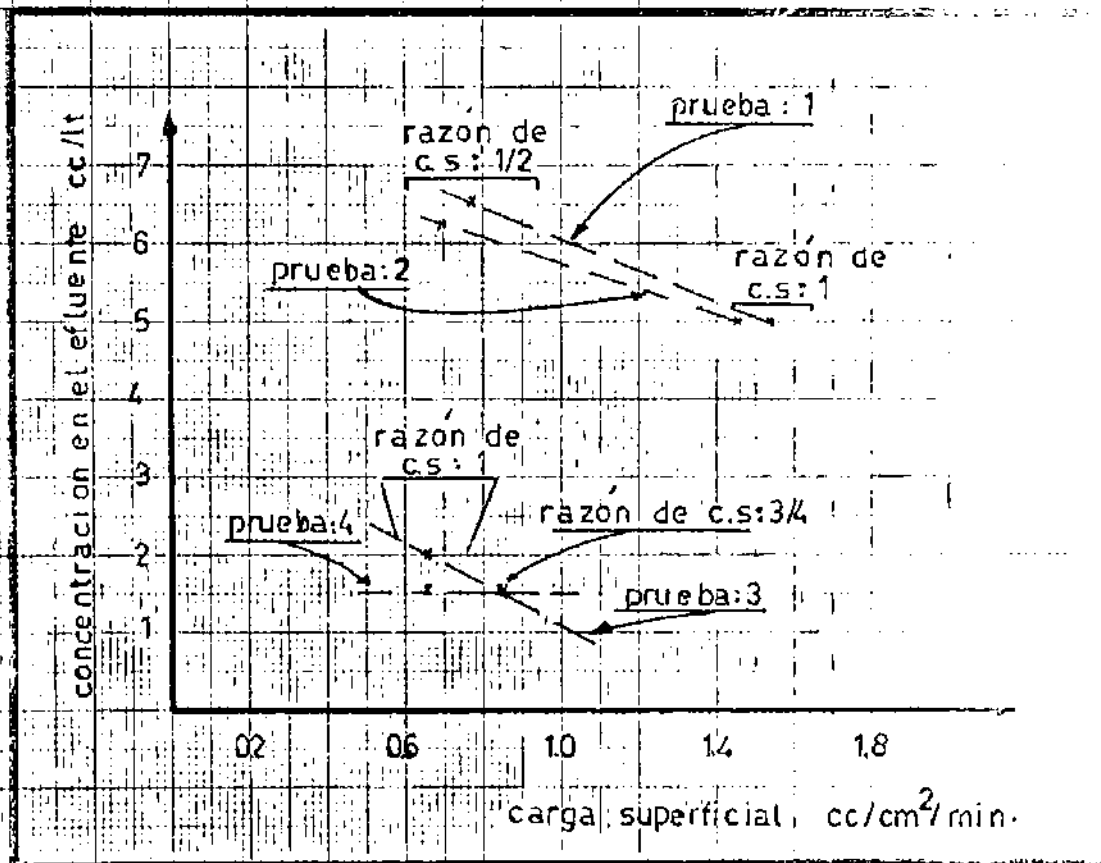


Fig. N° 18

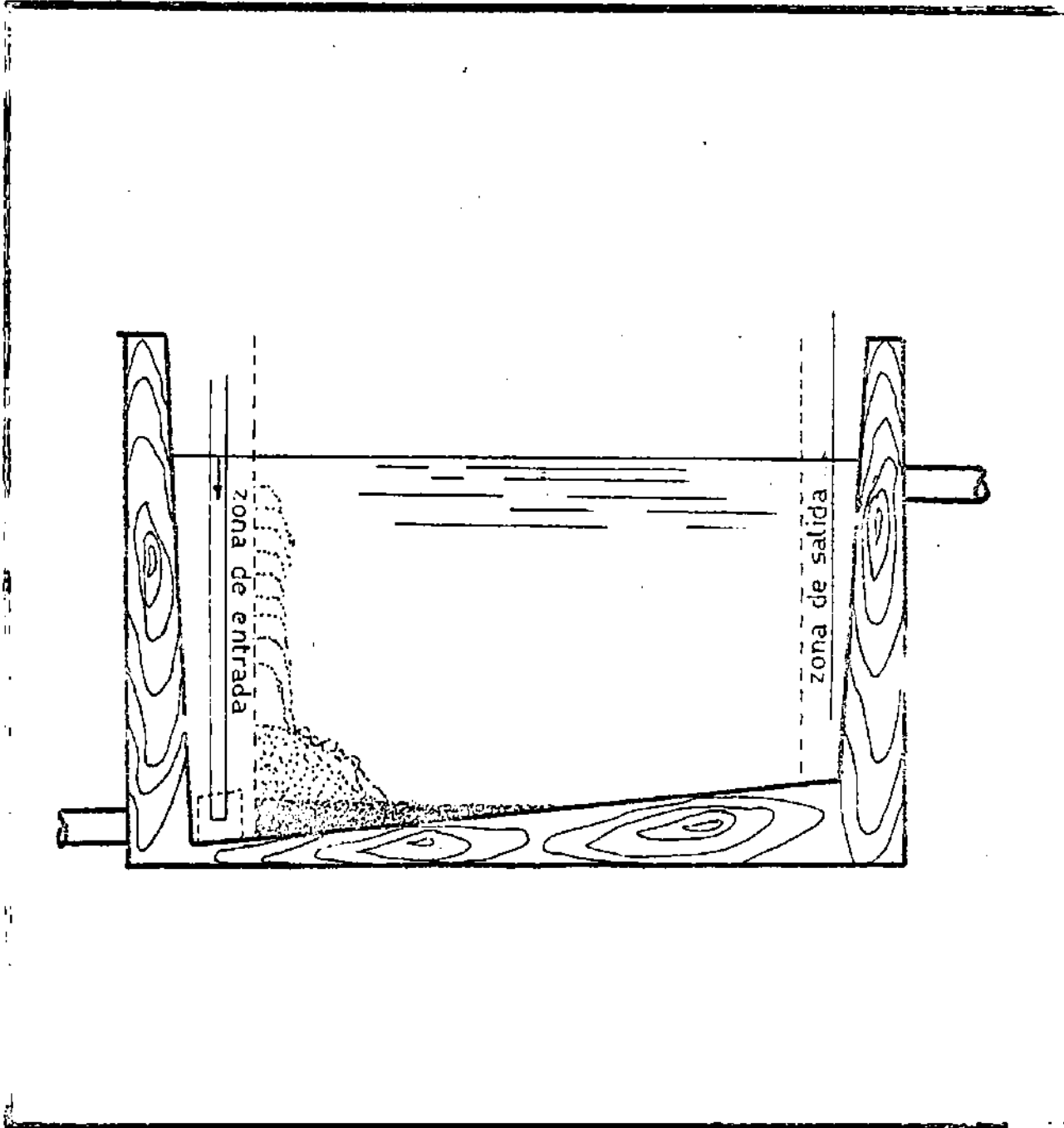


Fig. N°16.- Sedimentación interferida

R E F E R E N C I A S

1. Davis, C.V., (Editor) Handbook of Applied Hydraulics,
Chapter 21, "Water Treatment" by
T.R. Camp.- Mc Graw-Hill Book Co.
New York (1952).
2. Stokes. Transactions. Cambridge Philosophical Soc. 8, 287, (1845).
3. Hazen, Allen "On Sedimentation", Transactions
American Soc. of Civil Engrs., 53,
63 (1904).
4. Camp T.R. "Sedimentation and The Design of
Settling Tanks". Transactions,
American Soc. of Civil Engrs. 111,
895 (1946).
5. Camp T.R. "Studies of Sedimentation Basin Design". Journal, Sewage and Industrial Wastes Assoc.
25, 1 (Jan. 1953).
6. Dobbins W.E. "Effect of Turbulence on Sedimentation". Transactions, American Soc. of Civil Engrs. 109, 629 (1944).

7. Fitch E.B. "Flow Path Effect on Sedimentation"
Jour., Sewage and Industrial Wastes
Ass. 28, 1.1 (an. 1956)
8. Eliassen, R. "Sedimentation and the Design of
-Settling Tanks-Discussion Transac-
tions of the American Soc. of Civil
Engrs. 111, 947 (1946).
9. Fitch E.B. "Significance of Detention in Sedi-
mentation". Jour., Sewage and Indus-
trial Wastes Assoc. 29, 1123 (Oct.
1957).

I N D I C E

INTRODUCCION	1
CARACTERISTICAS DE LA SEDIMENTACION	2
PARTICULAS DISCRETAS Y FLOCULANTES	6
SEDIMENTACION EN UN TANQUE IDEAL DE FLUJO HORIZONTAL. 7	
TRABAJO DE LABORATORIO	16
CALCULO DE NUMERO DE REYNOLDS DEL TANQUE	18
PRUEBAS CON COLORANTES	19
PREPARACION DEL PATRON DE COLORES	21
MUESTREO DEL EFLUENTE	22
PRUEBAS CON AGUA CALIENTE	24
PRUEBAS CON AGUA HELADA	25
PRUEBAS CON FLOCS	26
DOSIFICACION DE COAGULANTES	28
PRUEBAS CON FLOCS	28
PRUEBA VARIANDO EL TIEMPO DE RETENSIÓN Y LA CARGA SUPERFICIAL CONSTANTE	29
PRUEBA VARIANDO EL AREA SUPERFICIAL	35
CONCLUSIONES	40
REFERENCIAS	42

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
LIMA - PERU
FACULTAD DE INGENIERIA
MATERIA I