

Presidente Prof. ADALBERTO TIRADO ARROYAVE

Vocal " HECTOR SOBOL ZASLAV.

Secretario " ANTONIO FRIAS MENDOZA

1er. Supl. " CUTBERTO RAMIREZ CASTILLO

2do. Supl. " FERNANDO ITURBE HERMAN

Sitio donde se desarrolló el tema: FABRICAS DE PAPEL LORETO Y  
PEÑA POBRE, S. A. 148

El sustentante: URBANO FERNANDEZ LOPEZ.

El asesor: ANTONIO FRIAS MENDOZA.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

TESTI  
CLAS \_\_\_\_\_  
AÑO \_\_\_\_\_  
FECHA 1906  
PASC \_\_\_\_\_

148



QUINIA

Introducción .

Capítulo I            Generalidades y mecanismos de Floculación .

Capítulo II           Descripción del sistema y características de -  
los efluentes .

Capítulo III          Análisis .

Capítulo IV          Tratamiento .

Capítulo V           Cálculo del equipo .

Capítulo VI          Evaluación económica

Conclusiones .

Bibliografía .

## INTRODUCCION.

Desde la antigüedad se le ha dado a el agua el título de - "El liquido más importante para el ser viviente" . Muchas veces ha causado destrucción; pero los beneficios, que a través de ella se obtienen, hacen aliviar todo el mal que ha causado . Comenzando con el cuerpo humano, tenemos que la mayor parte de el es agua, y que se necesita del agua para su alimentacion y aseo . La industria no se queda atrás: Una industria sin agua es imposible .

Ya en forma particular, tenemos el caso de la industria de pulpa y papel . En donde el agua debe ser considerada como una de las más importantes materias primas .

En la mayoría de las veces, es un factor determinante para la localización de la planta, en una industria de este tipo .

Se emplea directamente en la producción de la pulpa, en el lavado y descortezado, en la tincion, y es el medio de transporte de la fibra, a través del proceso de fabricación .

Tiene funciones primordiales, durante la formación del papel y se utiliza también en la generación de vapor y energía .

En la mayoría de los casos debido a diferentes necesidades es indispensable reutilizar esta materia prima .

En el caso del presente estudio, debido a los diferentes -- problemas que representa la extracción de agua del subsuelo en el valle de México, y especialmente en la ciudad de México, por el hundimiento intensivo y el acelerado crecimiento de población de las mismas . Todos estos factores además de otros que afectan en for

ma desfavorable a las industrias que operan en el valle de México.

En una fábrica de papel situada en estas condiciones, se ha intentado hacer un sistema completo de tratamientos y recuperación de agua.

Se han aprovechado las instalaciones existentes en las cuales se efectuaron algunas modificaciones, y se han hecho instalaciones nuevas; con el objeto de poder alcanzar los requerimientos necesarios.

Primeramente fue necesario hacer análisis estimativo del costo, con el objeto de conocer el precio aproximado del agua recuperada y evitar que fuera a ser mayor que el precio del agua fresca.

## CAPITULO I

### DEFINICIONES Y MECANISMOS DE FLOCULACION.

Durante los ultimos años se ha mostrado un ínteres por el uso de polielectrolitos de alto peso molecular en la industria papelera.

Específicamente para mejorar la calidad de agua para procesos industriales, así como también como agentes de retención.

El mecanismo por el cual cierto tipo de polimeros solubles en agua actúan en estos procesos está basado en un grado correcto de floculación.

Durante muchos años se han usado grandes cantidades de coagulantes a altas dosificaciones; casi siempre anti-económicas, para alcanzar un grado de clarificación en aguas industriales y aguas blancas de recuperación.

El término floculación es aquí aplicado al proceso por el cual un número de pequeñas partículas dispersadas como entidades individuales en un medio líquido coalescen juntas para formar floculos, los cuales son estables a movimientos causados por diferencias de temperaturas en el líquido.

En esta definición hay que considerar tres factores para que sea efectiva:

1.- El factor dispersante el cual mantiene a las partículas como entidades separadas.

2.- El factor floculante el cual hace que estas partículas se junten.

### 3.- El factor agitación que provoca la ruptura del flóculo

Para simplificar lo antes mencionado estudiaremos un sistema de partículas desde un punto de vista de dispersión inicial, -- floculación y factores que provocan la floculación.

#### 1.- Sistema de Partículas Dispersas .

Consideremos un sistema acuoso, las partículas casi invariablemente estarán cargadas eléctricamente, ya sea por ionización o por adsorción de potencial de un ión a otro .

La carga eléctrica transportada por una partícula de tamaño coloidal es de importancia fundamental, ya que sin ella los sistemas dispersos serían muy inestables. La presencia de dobles capas eléctricas del mismo signo rodeando las partículas provocan -- una repulsión mutua, así que no se aproximan lo suficiente para -- unirse . Puesto que las partículas son idénticas, las cargas serán -- las mismas, esto causa la repulsión eléctrica entre todas las partículas en todas las direcciones .

#### Capa Eléctrica doble .

Para explicarnos muchos fenómenos químicos coloidales, -- la teoría de doble capa eléctrica; ha contribuido para su mejor entendimiento, según esta teoría una capa se encuentra fijada sobre -- la superficie de la fase dispersa y la otra capa en la dispersante; la idea de una capa doble de este tipo, en la superficie límite de una fase-sólida, y la otra líquida, fue desarrollada por HELMHOLTZ -- en 1879. Posteriormente se idearon otras teorías como la de STERN Denominada capa doble compuesta; formada por una capa doble rígida y una capa doble difusa .



Para la formación de una capa doble es necesario que la superficie límite sólida lleve una carga; esta carga se debe a tres factores:

a.- A puntos interiores defectuosos en el retículo cristalino, con lo cual la superficie puede llevar una carga.

b.- Sustancias sólidas iónicas y difícilmente solubles, en las que se establece, debido a la poca solubilidad de un ion, un equilibrio termodinámico que origina un potencial.

c.- Por cargas superficiales producidas por adsorción de partículas cargadas positivamente

Potencial Electrocinético ó Potencial zeta.

El potencial electrocinético o de doble capa, es la diferencia de potencial entre la superficie-límite y el interior de la solución. Esta diferencia de potencial, que corresponde a la capa eléctrica doble, es importante en los procesos en que existe un movimiento relativo de la fase sólida presente en la solución.

Durante este movimiento, el líquido no se desplaza directamente a lo largo de la superficie-límite de la fase sólida; sino que está adherida a la superficie una capa molecular de disolvente con los iones adsorbidos. La superficie de contacto durante el movimiento es la superficie-límite entre la capa doble y la capa doble difusa, el factor decisivo es la diferencia de potencial entre la superficie entre la superficie líquida y el interior, que se puede medir como potencial zeta. (2)

Para la determinación del potencial zeta, puede hacerse por tres procedimientos enumerados abajo:

a.- por electroforesis: Midiendo la velocidad de migración de las partículas; ya que la velocidad es proporcional a la intensidad del campo y al potencial zeta de la partícula.

b.- Por electroforesis de transporte de masa según Senettoliver.

c.- Por electro-ósmosis. Para materiales fibrosos

La investigación de la capa doble-electrica no solamente es necesaria para comprender los fenómenos electroosmóticos, sino también para estudiar los procesos de superficie-límite en general, como son: coagulación, hemectación, peptización, adsorción, -- etc.

El potencial zeta, depende de la superficie específica de la carga, del potencial de atracción entre dos partículas a su volumen y el potencial de repulsión a su superficie; Por lo tanto habrá máxima atracción entre dos partículas, cuya superficie específica posea el valor mínimo de potencial zeta.

Según estudios hechos por HUBER, encontró que mientras más pequeño sea el potencial zeta; se llega a una mayor floculación o aglomeración; el rango del potencial, según HUBER es de  $\pm 3$  y  $0$  mV. ( 2 )

La reducción del potencial zeta hasta un valor mínimo - se puede conseguir mediante la adsorción de floculantes orgánicos, por partículas de carga.

En la práctica de adición excesiva de floculante disminuye la floculación; es por lo tanto necesario, determinar experimentalmente la zona de floculación para lo cual es necesario conocer el potencial zeta de las cargas y fibras.

En conclusión podemos decir que la floculación en una suspensión fibrosa cuando el potencial zeta es el mínimo.

De acuerdo a las consideraciones antes mencionadas por ( 2 ) se concluire que la combinación de fuerzas de repulsión eléctrica de largo alcance y fuerzas de atracción molecular de corto alcance conducen a una barrera de potencial de energía entre las partículas cargadas. Este potencial de energía denominada también potencial zeta.

Como antes mencionamos; existen varios métodos para la determinación del potencial zeta, aquí trataremos de describir brevemente, un método: La ecuación fundamental para la determinación del potencial zeta de partículas coloidales en agua es:

$$PZ = 4UV/D$$

Donde:

PZ= Potencial zeta.

U = Velocidad Eléctroforetica de la partícula

V = Viscocidad del coloide.

D = Constante dielectrica del medio.

Como V y D son constantes dado un medio, manteniendo constante la temperatura el potencial zeta es proporcional a la velocidad electroforetica. ( 4 )

U es expresado como la velocidad en el viaje de una partícula en micrones/ seg. por volt/ centímetro. La distancia se determina rapidamente tomando el tiempo que tarda en el viaje una partícula coloidal entre dos líneas determinadas de un micrómetro

ocular, Los volts/ centímetros representan fundamentalmente la caída de voltaje ( en el líquido ) entre los electrodos y la distancia en centímetros entre los mismos .

Sin embargo los estudios hechos acerca del potencial zeta, unicamente han quedado a nivel de laboratorio . Se considera que el día que se conozca mejor y se pueda más rápidamente y eficientemente el potencial zeta . Se podrán explicar mejor los fenómenos que ocurren, por ejemplo en: el encolado del papel, en la formación de la hoja, en el drenado de la pasta, etc . así como también se podrá determinar el uso adecuado de los productos químicos que favorezcan estos efectos .

## 2.- Métodos de floculación de partículas dispersadas .

Pasando por alto la acción puramente mecánica, hay tres caminos para flocular un sistema dispersado, mediante la modificación de las superficies de las partículas .

a).- Eliminando o reduciendo sustancialmente las superficies cargadas permitiendo a las fuerzas de VANDER WAAL'S -- entrar en juego . Este es un método ampliamente usado y se lleva a cabo por la adición de iones polivalentes de carga opuesta a la de la superficie, por ejemplo: la iniciación de iones aluminio a un sistema que contiene coloides cargados negativamente .

b).- Modificando la superficie para dar áreas localizadas de carga opuesta . Esto puede verse por ejemplo: En el caso del coalin el cual tiene una estructura laminar con dos caras cargadas negativamente y sus bordes cargados positivamente . Debido a esto el coalin puro disuelto en agua destilado, flocula fuertemente en una unio cara-lado .

En la práctica es normalmente defloculado por la adición de polielectrolitos anionicos tales como: polimeros de acrilamida, - polifosfatos, silicatos, sales de ácido polisulfónico, etc. Estos son absorbidos sobre los lados positivos para hacer que el caolín se cargue positivamente en toda su superficie.

c).- Mediante la absorción de un segmento de una molécula muy larga a la superficie de una partícula, pudiendo absorberse otras al resto de dicha molécula. En la práctica se forman una gran cadena de pastículas entre si.

Factores que intervienen en el grado de floculación:

a).- La eficiencia o resistencia de absorción del polimero acuoso sobre la superficie.

b).- El grado de agitación durante la floculación.

c).- La agitación subsecuente la cual puede dar como resultado la ruptura del floculo, si la agitación es excesiva.

Los polimeros usados como floculantes más conocidos hasta la fecha son los polimeros de acrilamida, y esto se debe principalmente a la naturaleza altamente dipolar de los grupos amida. Reforzando las fuerzas de absorción de VANDER WAAL'S para unir varios tipos de superficies.

En el caso de los tipos anionicos es necesario la formación de un puente de aluminio para pigmentos y fibras cargadas negativamente, en el caso del tipo cationicos, es innecesario.

Podemos considerar que a medida que el peso molecular aumenta en el caso del floculante, aumentara el número de lugares disponibles para la absorción; por lo tanto la estabilidad del floculante sera mayor.

Efecto de la agitación: Durante el proceso de floculación debemos considerar que la agitación debe estar presente durante el proceso de la floculación por dos razones:

✓ a).- La solución floculante es absorbida fuertemente e irreversiblemente sobre las superficies de las partículas, y por lo tanto una mezcla inadecuada da como resultado una adsorción y floculación cerca del punto de adición dejando partículas sin flocular el sistema.

b).- La segunda razón para aplicar una agitación a una mezcla de una solución floculante, es crear un mayor contacto físico entre las partículas facilitando así la formación de puentes.

Si se aplica una agitación subsecuente sobre el sistema - después de la floculación, el floculo se rompe y el sistema no regresará al mismo estado de floculación.

Hay una doble razón para lo antes mencionado, y es que las moléculas floculadas no están estáticas, sino que están continuamente enrollándose y desenrollándose; y también las superficies de las partículas no están saturadas.

De aquí que las secciones libres de una partícula polimérica que tiene una porción absorbida sobre la superficie de una partícula, lleguen a adherirse a la misma partícula; sino tiene oportunidades de ser absorbida por una segunda partícula'. En último caso esto puede resultar, en que cada molécula floculante se absorba solamente sobre las superficies de partículas individuales evitando así la formación de puentes y por lo tanto no habrá floculación.

## CAPITULO II

En la industria de pulpa y papel, el agua es una de las materias primas más importantes; y por lo cual en muchas ocasiones es el factor determinante para la localización de una planta de este tipo.

Se emplea directamente en la producción de pulpa, y en todos los procesos que tenga esta, para su preparación como materia prima para la fabricación del papel.

El agua en la fabricación de papel es una materia prima - de primer orden. Ya que el porcentaje en relación con la celulosa es mayor de un 90%. Por esta razón, es indispensable reutilizar las aguas blancas, sobrantes de la maquina de papel.

Existen varias razones para la reutilización de esta materia prima una de ellas es: El creciente desarrollo industrial y social que experimenta nuestro país, y principalmente la ciudad de México; donde la población ha aumentado en un gran porcentaje; y el consumo de agua por lo mismo ha aumentado.

Por este tipo de razones las autoridades gubernamentales al evaluar los problemas existentes de falta de agua, resolvieron - crear un impuesto especial, para las industrias que consumen grandes cantidades de agua.

Debido al alto costo del agua como materia prima; y en algunos casos la dificultad a su suministro. Las industrias que no - han podido cambiar sus instalaciones a otros lugares, fuera de la - zona industrial del valle de México, se han visto en la necesidad de encontrar diferentes sistemas de tratamiento, para poder recuperar la máxima cantidad de agua de las aguas blancas de proceso, y así mismo poder disminuir el consumo de agua fresca.

Dada una pequeña introducción del porque son necesarios los sistemas de tratamiento de las aguas de proceso; entraremos en materia para describir el sistema de recuperación y recirculación -

de aguas de proceso de la fábrica de papel "LORETO"

El sistema en turno incluye las aguas utilizadas y desechadas por los siguientes departamentos .

1.- Tres máquinas de papel tipo FOURDRINIER .

2.- Planta de pasta mecánica .

Una fábrica de papel semi-integrada situada en estas condiciones se ha intentado hacer un sistema completo de tratamiento y recuperación de agua .

Se han aprovechado las instalaciones existentes, en las que se han hecho, modificaciones; y se han hecho instalaciones nuevas con objeto de poder alcanzar los requerimientos necesarios .

#### Descripción del Sistema .

El agua blanca de fabricación sobrante de las máquinas del papel es pasada por un equipo recuperador de fibras del tipo de cilindro rotatorio, para el caso de las máquinas Nos 1 y 3 (Filtro L.T. y Save-all respectivamente). Para la máquina # 2 un recuperador de fibras del tipo de flotación (ADKA ). El equipo antes mencionado desarrolla dos funciones; una como su nombre lo indica recuperar la fibra que pasa através de la tela metálica en la mesa de formación de la maquina de papel . La segunda función es recolectar el agua que se filtra através de capa que se forma en el filto del tambor rotatorio . El agua recolectada de los recuperadares de fibra, contiene gran cantidad de finos, cargas etc . Es recirculada nuevamente a la máquina de papel, para usarse como agua de dilución, para regular la consistencia de la pasta a la entrada de la máquina, etc . Pero gran cantidad de esta agua sobrante es bombeada a un tanque recolector general que a la vez sirve de tanque de retención para alimen



tar al clarifloculador.

El agua clara obtenida del derrame del clarifloculador es almacenada para posteriormente ser recirculado por todo el sistema

En el diagrama No. 3 se muestra la distribución a grandes rasgos del diagrama de flujo, del sistema de tratamiento.

El agua blanca del departamento de pasta mecánica es el agua que sale de los espesadores (DECKERS) esta es recolectada en un tanque de almacenamiento del cual posteriormente es bombeada al tanque de retención del clarifloculador.

El diagrama de flujo esta expresado en el diagrama No.3

El tanque de retención es un tanque rectangular de concreto armado, su función principal es mantener un flujo más o menos constante al tanque clarifloculador.

La purga (lodos) del tanque clarifloculador es alimentada a una serie de conos sedimentadores; en donde los lodos son espesados. Estos conos trabajan en serie. La purga del último cono es bombeada al departamento de pasta mecánica, para recolectar la fibra. Esto es a grandes rasgos la descripción del sistema de tratamiento de agua de la fábrica de papel "LORETO". En el siguiente capítulo se describirá con más detalle el funcionamiento del sistema; así como la función específica de cada equipo.

Para llevar a cabo este estudio de tratamiento de aguas o efluentes papeleros, fue necesario llevar a efecto una serie de análisis de las diferentes aguas de las tres máquinas así como también de la planta de pasta mecánica.

Impurezas en efluentes papeleros: En general se pueden clasificar en dos grupos las impurezas o sólidos que se encuentran

en los efluentes papeleros .

a).- Impurezas en suspensión: Estas impurezas son sólidos en suspensión fácilmente sedimentables . Este material suspendido son partículas insolubles tales como: fibras de diversos tamaños, -- productos insolubles de encolado, cargas, arenillas, etc ., su exceso hace decrecer la brillantes del papel, ocasiona decoloraciones y puede dañar telas y fieltros .

b).- Impurezas disueltas . El agua puede tener dependiendo de sus condiciones iniciales los siguientes compuestos disueltos: sulfato de aluminio, carbonato de calcio, sulfato de calcio, hidróxido de aluminio, sílice, bióxido de carbono en exceso que puede afectar la formación del papel, cloruro de sodio, sulfato de sodio etc .

Además en este grupo podemos incluir productos que forman suspensiones coloidales que son difícilmente sedimentables, como son: resina libre, almidones, coloides varios, azúcares orgánicos de bajo peso molecular, provenientes de la celulosa de bagazo de caña y sólidos que por su tamaño reducido tardan mucho tiempo en sedimentarse .

Todo este tipo de impurezas, que existen en los efluentes papeleros están en función directa del tipo de fabricación que este produciendo la máquina de papel . Pero el problema se agudiza más cuando se tiene más de una máquina de papel; por que difícilmente dos máquinas a un mismo tiempo producen el mismo tipo de papel, puesto que es una gran variedad de papeles que se producen; por lo mismo las características de los efluentes variaran continuamente .

De los tipos de papeles que se fabrican en la planta, podremos enumerar algunos:

- a).- Papeles fuertemente encolados .
- b).- Papeles con 10% de titanio .
- c).- Papeles con resistencia en Húmedo .
- d).- Papeles para uso sanitario
- e).- Papeles con tinción de colorante con carácter de tipo ácido que deja bastante residuo en el agua blanca difícil - de eliminar .
- f).- Papeles que contienen hasta 75% de pasta mé canica .

Para hacer un análisis de este tipo de efluentes; es necesario tener un estandar de comparación, para obtener una determinada calidad de agua. Esta calidad esta en función de varios factores; uno de ellos, es el factor económico, que es el más importante. Puesto que el costo del tratamiento estará en función directa de la calidad de agua clara que se obtenga, para dicho proceso .

A continuación se tabula las especificaciones según "TAPPI" para aguas de proceso en la manufactura de cuatro diferentes tipos de papeles .

TABLA No. 3

	papeles finos	papeles Kraft .		papeles a base de pasta mécánica
		blancos	natural	
Sólidos disueltos	200	300	500	500
Turbidez	10	40	100	50
Color (unidades Pt)	5	25	100	30
Dureza total ( $\text{CaCO}_3$ )	100	100	200	200
Dureza debida al calcio ( $\text{CaCO}_3$ )	50	---	---	---
Alcalinidad del anaranjado de metilo ( $\text{CaCO}_3$ )	75	75	150	150
Hierro	0.1	0.2	1.0	0.3
Manganeso	0.05	0.1	0.5	0.1
Cloro libre	2.0	---	---	---
Silice Soluble	20	50	100	50

## CAPITULO III

### Aspectos Generales:

Los análisis de las aguas en el laboratorio se llevan a cabo por varios motivos; principalmente para conocer las características de las aguas de abastecimiento para el proceso, en el caso particular la fabricación de papel o para el abastecimiento de agua potable para el uso público .

Dependiendo del tipo de agua de abastecimiento y del uso a que se destinara . El análisis estará apegado a las condiciones necesarias y las normas para llevarlo a cabo . Por ejemplo; si el agua es destinada para uso industrial; el análisis rutinario sera determinar; la alcalinidad, dureza, sílice, iones incrustantes, sólidos totales, pH, y pruebas bacteriológicas para saber si esta o no contaminada, además de otras pruebas, de acuerdo con la industria o proceso específico .

En el caso de que se trate de agua potable para uso público; es indispensable determinar además: nitrógeno amoniacal, orgánico, de nitritos, nitratos, demanda bioquímica de oxígeno - - ( DBO ) y además efectuar un examen bacteriológico y microscópico más preciso .

El valor de cualquier prueba de laboratorio, depende de varios factores, uno de ellos es el método de muestreo . Para que tengan valor los resultados las muestras tienen que ser representativas del agua que se va a examinar .

Existen métodos específicos de muestreo dependiendo del tipo de análisis a que se va a someter la muestra de agua; pudiendo ser bacteriológico o químico .

Generalmente se emplean frasco de vidrio con tapón esmerilado, perfectamente lavados, primero con ácido clorhídrico, y después con agua corriente y por último con agua destilada. En el momento de tomarse la muestra, deben enjuagarse los recipientes con la misma agua por analizar.

La cantidad de muestra para un análisis químico, se necesitan cuando menos tres litros; y para análisis bacteriológicos, será suficiente con un litro.

Al frasco que contenga la muestra, se le colocara una -- etiqueta con los siguientes datos, para su identificación: fecha, -- lugar de muestreo, naturaleza de la corriente, temperatura del -- agua y del ambiente y además otros datos que se consideran necesarios.

Se debe hacer llegar la muestra al laboratorio a la mayor brevedad posible, debido al marcado efecto que sobre el contenido bacteriológico y gases disueltos tiene el almacenamiento.

Las unidades más comunes en que se expresan los resultados de estos análisis son en miligramos por litro o partes por millon ( PPM ) del ion específico, la alcalinidad y la dureza en partes - por millón de carbonato de calcio equivalente.

#### DEFINICIONES :

Para poder hacer una interpretación correcta de los análisis a que se someteran las muestras de agua en turno, es necesario hacer una serie de definiciones y dar una ligera explicación, del porque, se denomina así la prueba y cual es el método a seguir para efectuar dicha prueba.

1.- ALCALINIDAD: La alcalinidad de una agua puede -- ser debido al contenido de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos, etc.

Este nombre se le da también a la medida cuantitativa de los constituyentes alcalinos totales de una agua; tanto en el estado ionizado, como en el no-ionizado, usualmente se expresa en miligramos por litro o partes por millon de calcio equivalente.

Para deteminar la alcalinidad del agua, se titula con --- ácido clorhídrico valorado hasta que se produzca el vire del color de los indicadores fenolftaleina y naranja de metilo.

La alcalinidad al naranja de metilo es una medida de alcalinidad total y presisamente para los álcalis fuertes. Por ejem-- plo: si la primera titulación usando como indicador fenolftaleina es nula su interpretación; es que solo, hay bicarbonatos. Si las dos titulaciones son iguales solo hay hidroxidos; es decir la segunda ti tulación se usa como indicador naranja de metilo.

Cuando los resultados de la titulación con fenolftaleina usando como indicador es igual a la mitad de los resultados de la segunda titulación, usando como indicador naranja de metilo, su interpretación es: existen carbonatos, pero no hidroxidos ni bi-- carbonatos.

2.- EXAMENES BACTERIOLOGICOS: Los exámenes bac- teriologicos indican la presencia de bacterias características de - la contaminación, que causan sabores y olores desagradables.

3.- EXAMENES MICROSCOPICOS: La finalidad de los exámenes microscopicos es proporcionar información relativa de - las proliferaciones de las bacterias en el agua.

4.- CLORO: Es un elemento que existe comúnmente co- mo gas amarillo verdoso, aproximadamente 2.5 veces más pesado que el aire. Se usa principalmente en la desinfección del agua.

El cloro en el tratamiento de aguas recibe varios nombres de acuerdo como se encuentre presente:

a).- Demanda de cloro: es la diferencia que existe entre la cantidad de cloro que se agrega a el agua y la cantidad de cloro residual que queda después de un tiempo de contacto definido .

b).- Cloro residual: Es la cantidad de cloro (cloro disponible libre y/o combinado) que se queda en el agua después de un periodo de contacto definido .

5.- CLORUROS: Son las sales del ácido clorhídrico; no debe confundirse con el cloro presente en el agua, los cloruros son sustancias inorgánicas que se encuentran generalmente en el agua como residuos. Los cloruros se determinan titulando con una solución de nitrato de plata; usando cromato como indicador .

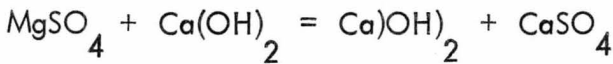
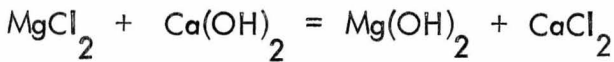
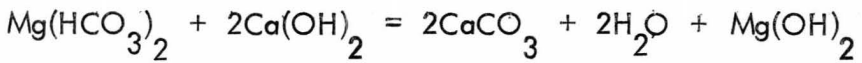
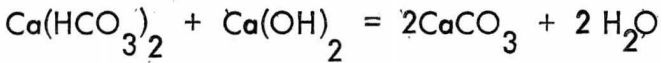
6.- DUREZA.- La dureza es una característica del agua debido principalmente al contenido de carbonatos, bicarbonatos y sulfatos de calcio y magnesio, que hacen que el jabón forme grumos en el agua y por consiguiente se consume más jabón .

La dureza también puede ser una desventaja cuando el agua es destinada para el uso de fines de lavado, de fieltros o de pulpas, para papeles que tengan un alto grado de pureza química .

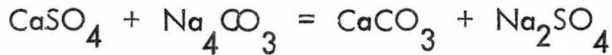
Con el agua que se va a destinar para la generación de vapor, la dureza es por supuesto de máxima importancia; y es raro el caso que no se justifique, desde el punto de vista económico, la instalación de una planta de tratamiento de agua, para evitar incrustaciones y corrosión .

Existen tres métodos principales para ablandar el agua, a saber:

a).- Proceso cal-carbonato en caliente. El agua se trata a una temperatura de 65° a 80° C. con cal, y las reacciones son:



Se podrá notar que el calcio y el magnesio (dureza temporal) presipitan como carbonatos e hidroxidos, respectivamente, y que la dureza permanente debido a las sales de magnesio se precipitan como hidróxido, pero que resulta una cantidad equivalente de dureza de calcio. Por esto, sigue el tratamiento con carbonato de sodio.



con lo que la dureza permanente (debida al sulfato de calcio disuelto) se convierte en sulfato de sodio. Si además existe mucho bióxido de carbono libre, a veces se incluye sosa cáustica en el tratamiento.

Las ecuaciones muestran también, que para la dureza temporal debida al magnesio, se requiere el doble de cal, con respecto a la que se necesita para eliminar la dureza debida al calcio (5).

b).- Proceso a base de Zeolitas. Las Zeolitas, son productos naturales o sintéticos, llamados intercambiadores de iones. El intercambio iónico, consistente en intercambio reversible de iones, entre un medio sólido de intercambio y una solución. En la industria se emplean cambiadores aniónicos y catiónicos, para la preparación



de agua de alimentación de calderas, desmineralizar aguas de proceso, etc.

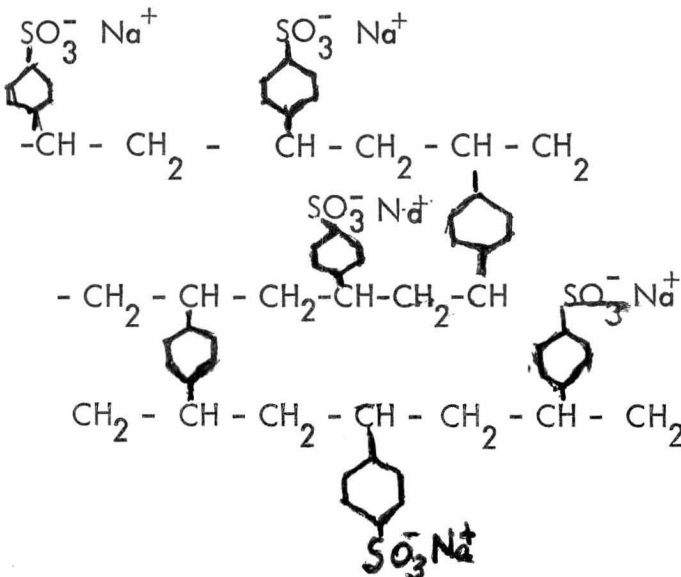
Para ser efectivos. los intercambiadores de iones sólidos deben: 1).- Contener sus propios iones 2).- Ser insolubles en agua, 3).- Proporcionar suficiente espacio en su estructura porosa, para que los iones pasen libremente al interior y hacia el exterior del sólido.

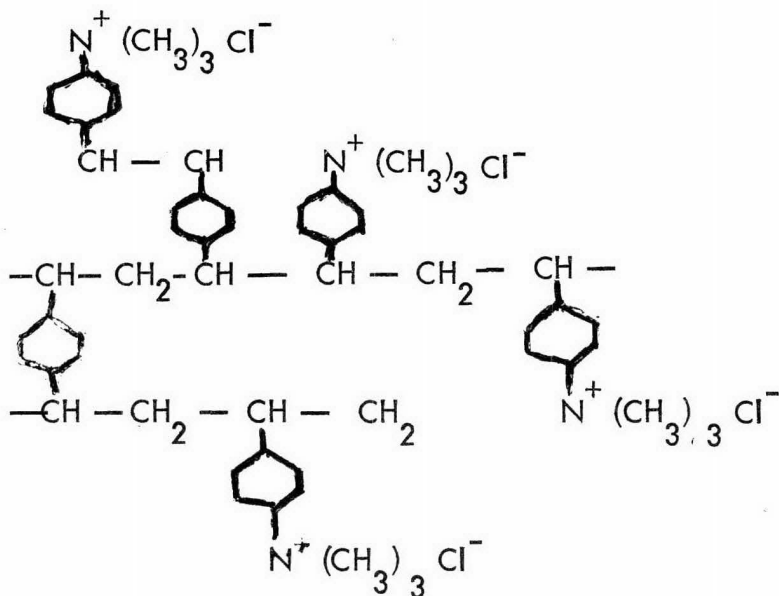
Los cambiadores catiónicos tienen una estructura cargada negativamente, pero sus poros contienen catiónes que mantienen su electroneutralidad. Los cambiadores aniónicos poseen las cargas -- eléctricas, exactamente opuestas.

De las Zeolitas naturales, existe una gran variedad; de las cuales citaremos, las zeolitas de arena verde (glauconita)

De las resinas sintéticas de intercambio iónico tiene varias nombres comerciales. De las cuales citaremos la estructura química de dos resinas sintéticas:

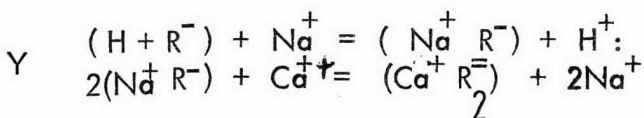
1).- Cambiador catiónico fuertemente ácido, ( $\text{Na}^+\text{R}^-$ )

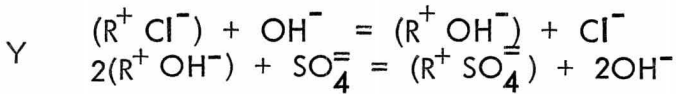


2).- Cambiador aniónico fuertemente básico ( $R^+ Cl^-$ )

Estas resinas actúan, como un ión solo, cargado múltiplemente, en el cual se encuentran miles de átomos ligados en una red tridimensional. La carga del ión polímero se neutraliza por pequeños iones de carga opuesta dentro de la red, en donde se mantienen por cargas electrostáticas, sin estar ligados a la matriz de intercambio iónico. En esta forma son capaces de intercambiar su lugar con los iones de una solución.

El proceso de intercambio iónico se puede formular de la siguiente forma:





en donde  $R^-$  y  $R^+$  simbolizan a la red cargada negativamente y positivamente de intercambio catiónico o aniónico, respectivamente.

Dentro de la solución y del medio de intercambio iónico - se debe mantener un balance de cargas (electroneutralidad); debe - mantenerse constante el número de cargas y no el número de iones dentro o en la superficie del gránulo del cambiador.

La tecnología del proceso de intercambio de iones funciona de la siguiente manera: Las soluciones se ponen en contacto con los intercambiadores de iones en operaciones por lotes, o en columnas. En las operaciones por lotes, el cambiador y la solución se - agitan en un recipiente hasta que se alcanza el equilibrio. Debido a que generalmente se satisface sólo una pequeña porción de la capacidad de intercambio, los procesos por lotes son de utilidad limitada

En las operaciones por columnas, la solución fluye através de un cilindro vertical lleno con el cambiador iónico. Cada operación se puede considerar como una serie de operaciones por lotes en secuencia, entrando en contacto el cambiador iónico fresco con una solución progresivamente más agotada, hasta que se completa finalmente el intercambio. En la suavización de aguas por intercambio iónico, la sustitución del calcio, magnesio, y de cantidades menores de los iones metálicos más pesados ( $Fe^{++}$ ,  $Mn^{++}$ ,  $Sr^{++}$ ) por los iones sódicos es una función importante del intercambio iónico.

La remoción del  $Ca^{++}$  y del  $Mg^{++}$  es mucho más completa que en el proceso por cal-carbonato.

Desmineralización: La desionización del agua se efectúa - generalmente mediante un proceso en dos etapas, en que el agua pasa através de un cambiador catiónico en la forma  $H^+$ , ( $H^+R$ ) y un

cambiador aniónico en la forma  $\text{OH}^-$ , ( $\text{R}^+ \text{OH}^-$ ). Al entrar el cambiador catiónico, todos los cationes se permutan por una cantidad equivalente de iones  $\text{H}^+$ . El efluente que en realidad es una solución de los ácidos correspondientes a los aniones entre el intercambio aniónico en donde todos los aniones se permutan por iones hidróxido que neutralizan la cantidad equivalente de  $\text{H}^+$  formando el cambiador catiónico.

Se produce una cantidad equivalente de agua. Los cambiadores de lecho mezclado constituyen un desarrollo más creciente en la desmineralización de agua.

Las resinas cambiadoras catiónicas empleadas en proceso de desmineralización son regeneradas con ácidos fuertes. Generalmente se utiliza  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , aún cuando este precipita ocasionalmente  $\text{CaSO}_4$  en el lecho del intercambio.

La desmineralización produce agua de alta calidad para la industria, especialmente para servicio como agua de repuesto en plantas generadoras de vapor.

c).- La electrodialisis: El agua se puede desalar electroquímicamente por electrodialisis a través de membranas selectivamente permeables respecto a los cationes o los aniones.

El agua fluye a través de una celda formada por dos membranas semipermeables; que son delgadas barreras que ofrecen un paso fácil a algunos constituyentes de una solución, pero que son altamente resistentes al paso de otros constituyentes. Es decir: una es permeable a los cationes y la otra a los aniones. En el otro lado de cada membrana hay un recipiente que contiene un electrodo, al cual se aplica una corriente eléctrica. El electrodo que está detrás de la membrana permeable a los cationes se hace negativo, y que está detrás de la membrana permeable los aniones se hace positivo. De esta manera, los iones de sodio y cloro del agua salada --

que estan detrás de las membranas, son atraídos através de sus respectivas membranas hacia el electrodo que tiene carga opuesta, dejando agua pura.

Métodos Analíticos: Existen varios métodos para determinar la dureza de una agua; uno de los más recientes es el del versenato de sodio, puede usarse para determinar la dureza total por simple titulación y las durezas de calcio y magnesio por separado, por medio de un procedimiento por diferencias.

El método del versenato esta basado en las observaciones de SCHWARZENBACH de que el ácido etilendiaminotetracético -- (ácido versenico) forma complejos muy ligeramente ionizados con los metales alcalinoterreos. En la titulación basada en este principio, para indicar el punto final; se usa el colorante "Ericromo Negro T." que también puede formar con el calcio y el magnesio compuestos ligeramente ionizados.

7.- Demanda Bioquímica de Oxígeno. (D.B.O.) la demanda bioquímica de oxígeno es una medida de la capacidad de -- un efluente para eliminar el oxígeno natural de otra agua. En otras palabras es la cantidad de oxígeno utilizada en la Oxidación bioquímica de la materia orgánica en condiciones anaerobias en un periodo de tiempo determinado y a una cierta temperatura. Se mide empíricamente es decir, es una cifra obtenida como resultado de -- una prueba llevada a cabo bajo condiciones de operación, estrictamente estandarizadas. En pocas palabras el método consistente en diluir una cantidad apropiada del efluente, con una agua estandar que le proveera de oxígeno.

La determinación de la demanda bioquímica de oxígeno figura, entre las pruebas más importantes de los análisis para fines sanitarios, existen varios métodos de los cuales podemos citar a: método de WINKLER se puede usar para aguas que no contienen -- hierro ferroso y con menos de 0.1 p.p.m. de nitrógeno nitroso (6)

El método Rideal-Stewart es usado para aguas que contienen hierro ferroso.

8.- **SOLIDOS TOTALES.** Es la cantidad de materia que se encuentra en suspensión y en solución en un volumen determinado de muestra. Para determinar la cantidad de sólidos totales; se evapora un volumen conocido de agua y el residuo se seca a  $180^{\circ}\text{C}$ ., - hasta peso constante, y se pesa secándolo todavía caliente del desecador.

a).- **Sólidos en suspensión:** Es la cantidad de materia que se encuentra suspendida en el seno del agua o efluente. Para su -- determinación se filtra un volumen determinado de agua a través de un crisol Gooch con asbesto o de un papel filtro, que han sido se-- cados previamente a  $105^{\circ}\text{C}$ ., y puesto a peso constante.

b).- **Sólidos en solución:** Son debido a las sales inorgánicas y materias orgánicas, tales como productos de descomposición de celulosa, lignina, pentosanas, jabones, etc. Para su determinación se evapora un determinado volumen del filtrado obtenido en la determinación de los sólidos en suspensión; el residuo se seca a  $105^{\circ}\text{C}$ . durante una hora, se enfría en un desecador y posteriormente se pesa. La cantidad de sólidos disueltos es igual a la diferencia entre el residuo por evaporación y los sólidos totales en suspensión. Sin embargo si la diferencia es pequeña y las otras cifras son altas, la materia en suspensión se debe separar por filtración o en una centrifuga y en la solución resultante se determinan los sólidos disueltos.

9.- **POTENCIAL HIDROGENO (pH).** Es una medida del - grado de acidez ó alcalinidad de una solución, al compararla con una cantidad de ácido o base de algún material en la cual se ha efectuado una titulación alcalinométrica o acidimétrica. Como lo ha definido "SORENSEN" quien introdujo el termino;

$$\text{pH} \equiv \text{Log} (\text{H}^+)$$

Esta expresión involucra el logaritmo negativo de la concentración de el ión hidrógeno, expresada en molaridad. Sin embargo es la actividad del ión hidrógeno la que formalmente es causante de la termodinámica de la celda electromotriz del pH.

Como consecuencia el término pH es simplemente un símbolo matemático convencional, ampliamente aceptado. La escala de "SORENSEN" acomoda una serie de números del uno al catorce. Así un pH de 7.0 corresponde a la neutralidad y los valores inferiores y superiores a siete representan soluciones ácidas y alcalinas respectivamente.

Para mayor información ver ( 8 ).

Mediciones del pH. Existen dos métodos principales para la medición del pH. UNO se base en el hecho de que ciertos colorantes (indicadores) varían de color, de manera conocida de acuerdo con el pH de la solución en que ponen.

El segundo método; es el método electrométrico, se basa en que un electrodo metálico y otras determinadas sustancias que se disuelven ligeramente en agua (por ejemplo, el vidrio), y -- una solución que contenga los iones cuya concentración se desea medir, se establece un potencial eléctrico, y en que este potencial depende del pH de la solución.

El pH puede, por lo tanto medirse en términos de este -- potencial, conectando el sistema electrodo-solución (por medio de un tubo de vidrio que contenga un líquido conductor, tal como una solución saturada de cloruro de potasio) a un segundo sistema (pero estandar) electrodo-solución. Este último generalmente -- esta constituido por mercurio en contacto con calomel y solución de cloruro de potasio. La celda así formada desarrolla una fuerza

electromotriz real y esta se mide (E. en milivoltios).

Existen varios tipos de electrodos usados para la medición del pH; de los cuales podemos citar; Electrodo de gas hidrógeno, electrodo de quinhidrona, electrodo de antimonio, electrodo de vidrio.

Las definiciones antes citadas son algunas de las pruebas que se llevan a cabo en los análisis de aguas.

Abajo se cita un esquema de las pruebas más importantes de control de rutina, en función del tipo de agua o efluente, ( 6 )

### 1.- Aguas de proceso de Fábrica

- a).- Sólidos totales (orgánicos y en suspensión)
- b).- Dureza
- c).- Hierro
- d).- Cloruros
- e).- Color
- f).- Pruebas bacteriológicas.

### 2.- Aguas crudas y ablandadas para alimentación de calderas.

- a).- Sólidos totales (orgánicos y en suspensión).
- b).- Dureza
- c).- pH
- d).- Alcalinidad
- e).- Sulfatos
- f).- Bióxido de carbono
- g).- Sílice
- h).- Cloruros
- i).- Oxígeno disuelto

### 3.- Condensados



- a).- Conductividad
- b).- pH
- c).- Oxígeno disuelto
- d).- Alcalinidad
- e).- Dureza
- f).- Cloruros

#### 4.- Agua de Calderas .

- a).- Alcalinidad
- b).- pH
- c).- Fosfatos
- d).- Sulfatos
- e).- Sílice
- f).- Sodio
- g).- Cloruros

#### 5.- Agua de enfriamiento de condensadores .

- a).- Conductividad (para indicar si hay fugas)
- b).- Cloro (si se cloro)
- c).- Cloruros

#### 6.- Agua potable .

- a).- Absorción de oxígeno
- b).- Sólidos en suspensión
- c).- Cloruros
- d).- Amoníaco libre
- e).- Sales de amonio y amoniaco albuminoideo
- f).- Nitritos
- g).- Nitratos
- h).- Metales venenosos (color con ácido sulfhídrico en solu  
ción).
- i).- pH

- j).- Cloro libre (si se cloró)
- k).- Pruebas bacteriológicas,

## 7.- Efluentes .

- a).- Demanda bioquímica de oxígeno
- b).- Sólidos en suspensión
- c).- Amoníaco libre
- d).- Sales de amonio y amoniaco albuminoideo
- e).- pH
- f).- Temperatura

### Interpretación de los análisis

En el caso de tratamiento de aguas, la interpretación de los análisis, que se llevaron a cabo en el laboratorio, son de gran importancia; pues es la base para calcular y proyectar el equipo - necesario, para dicho tratamiento, y además también ayuda a seleccionar el método más adecuado; así como también ayuda a seleccionar los reactivos necesarios, para efectuar el tratamiento .

Para fines de estudio comenzaremos por interpretar los -- análisis del agua obtenida de los pozos profundos llamada también agua cruda .

### AGUA DE POZO .

De acuerdo a el uso que se va a destinar el agua, y el tipo de impurezas que contenga, se decidirá si el agua de pozo puede emplearse con seguridad o no, así como el tratamiento a que debera someterse .

Según el análisis del agua de los pozos mostrado en la tabla No. 1 nos muestra que no es necesario el tratamiento; puesto - que los límites no rebasan los necesarios para el proceso de la fabricación de papel .

Una agua de pozo aceptable debe contener menos de --- 300 ppm . de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) equivalente de dureza total . Por lo que esta agua puede considerarse blanda o de poca dureza . El contenido de sólidos totales y de cloruros es más o menos normal para este tipo de pozos .

Tabla No. 1

El análisis correspondiente a el agua de pozos, es un promedio de varios análisis, en distintas épocas del año, de los tres pozos existentes en la planta .

Dureza total	..... ppm	$\text{CaCO}_3$	.....140
Alcalinidad F	..... ppm	$\text{CaCO}_3$	.....000
Alcalinidad A.M.	.....ppm	$\text{CaCO}_3$	.....160
Sílice	..... ppm	$\text{SiO}_2$	.....71
Cloruros	..... ppm	$\text{NaCl}$	.....10
Sulfatos	..... ppm	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	.....10.0
Nitratos	.....ppm	$\text{NO}_3$	.....43.0
Sólidos disueltos	.....ppm		.....154.0
pH	.....		.....6.9 a 7.4

Tabla No. 2

El análisis correspondiente a las aguas blandas procedentes del departamento de máquinas de papel, así como también del departamento de pasta mecánica es un promedio de varios análisis efectuados con diferentes tipos de fabricaciones de papel .

Sólidos totales	..... ppm	.....460 — 2800
Sólidos suspendidos	..... ppm	.....100 — 2000
Sólidos disueltos	.....ppm	.....360 — 800

Dureza total	.....ppm $\text{CaCO}_3$	.....200 — 650
Dureza al calcio	.....ppm $\text{CaCO}_3$	.....164 — 250
Alcalinidad F.	..... ppm $\text{CaCO}_3$	.....0 — 50
Alcalinidad A.M.	.....ppm $\text{CaCO}_3$	.....75 — 150
Turbidez	.....	.....40 — 100
Color (unidades Pt.)	...esta en función este tipo de colorante.	
Sílice	.....ppm $\text{SiO}_2$	.....25 — 35
Sulfatos	.....ppm $\text{Na}_2\text{SO}_4$	.....350 — 680
Hierro	.....ppm	.....0 — 0
Cloruros	.....ppm $\text{NaCl}$	.....78 — 150
pH	.....4.5 a 8.0	

## CAPITULO IV

1.- TRATAMIENTO. El tratamiento de las aguas blandas de una fabricación de papel semi-integrada; como es nuestro caso, consiste en:

A).- Determinar el tipo de coagulantes más adecuado, para este punto se llevo a efecto una serie de pruebas, de las llamadas, de tipo jarra. Estas pruebas consistieron en: para una determinada agua blanca se hicieron variar las cantidades dosificadas de los productos químicos hasta obtener una determinada calidad de agua.

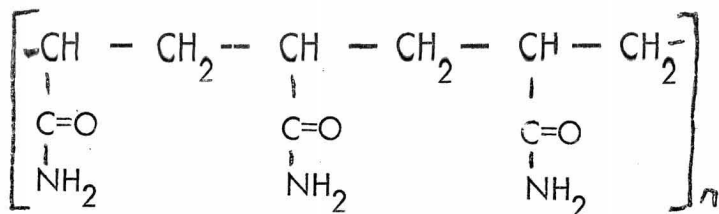
Los productos químicos usados como coagulantes son:

- 1).- Polielectrolitos (POLIACRILAMIDAS DE ALTO PESO MOLECULAR)
- 2).- Sílice activada
- 3).- Sulfato de aluminio.

Descripción de los productos químicos.

1).- POLIELECTROLITOS. Hace unos años se introdujo a la industria papelerera el uso de poliacrilamidas de alto peso molecular, como floculantes, existen en el mercado varias firmas que distribuyen este tipo de productos, con diferentes nombres; aquí citaremos algunos de los cuales, son los que se usaron para llevar a cabo las pruebas antes mencionadas.

a.- Nalcolyte 670. Es un polimero organico de alto peso molecular de la familia de las poliacrilamidas, su formula es:



### Propiedades físicas .

Apariencia: Polvo blanco

Densidad. 43 lb/ft<sup>3</sup>

Cenizas: 0.01 %

Punto de descomposición: 258° C

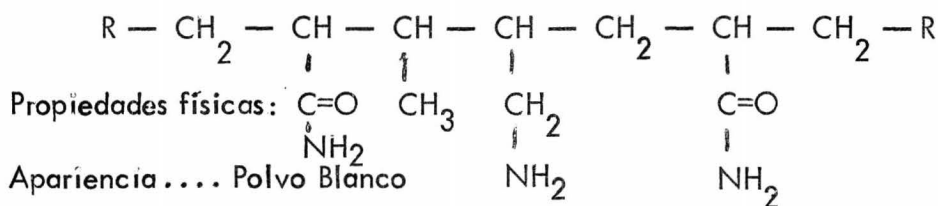
Solubilidad en agua. totalmente soluble

Es esencialmente no-ionico en solución, actúa bastante bien como floculador, su acción es completamente por adsorción de los sólidos suspendidos, através de la cadena del polímero .

El gran tamaño de la molécula proporciona muchos sitios para la -- adsorción de las partículas sólidas, con un rápido incremento en la formación de los flóculos para obtener un rápido asentamiento .

b.- Betz Polymer 1260. Es un polímero orgánico, copolímero de -- acrilamidas de elevado peso molecular, en solución es de un carácter catiónico, este producto es preparado a partir de crotonil-amina ( $\text{CH}_3\text{-CH=CH-CH}_2\text{-NH}_2$ ) y acrilamida.

Su estructura química o formula se representa como sigue:

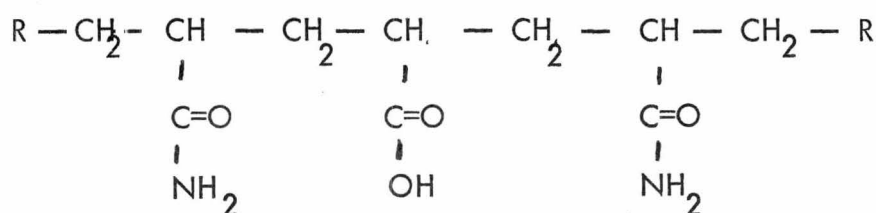


Densidad . . . . . 34 lb/ pie cubico

Solubilidad . . . . . totalmente soluble en agua .

c.- Separan. Es un polimero orgánico del tipo de acrilamidas de alto peso molecular y de carácter aniónico en solución.

La poliacrilamida puede hacerse anionica por la adición de grupos de carboxilo en la cadena del polímero. Esto puede llevarse a cabo por hidrólisis de la poliacrilamida o por la copolimerización con un monómero adecuado, el ácido acrílico ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOH}$ ) es un tipo de monómero utilizado en los productos comerciales. La estructura del copolímero puede representarse como sigue:



Propiedades físicas:

Apariencia ..... Polvo blanco

Solubilidad.....Totalmente soluble en agua

d.- Nalco 633. Es un polimero de alto peso molecular ligeramente anionico también derivado de acrilamidas.

Propiedades físicas:

Apariencia..... polvo blanco

Densidad..... 43 lb/ pie cúbico

Contenido de cenizas..... menos del 2%

Solubilidad ..... Completa en agua.

2.- Sulfato de aluminio. El sulfato de aluminio tipo comercial, contiene de 14.5 a 17.5 % de  $Al_2O_3$ . Su fórmula química es  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$

El sulfato de aluminio en solución contiene una mezcla de todos los distintos tipos de iones y mezclas de polímeros de los iones aluminio.

La serie de pasos en la neutralización corresponde a un equilibrio en la reacción ácido-base, que puede representarse como sigue:



El flóculo de hidróxido de aluminio es básicamente un polímero de  $Al(OH)_3$ .

El sulfato de aluminio generalmente se prepara calentando una mezcla de bauxita ( $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$ ) y ácido sulfúrico, y en el momento apropiado cuando el sulfato se forma, la masa se espesa y se puede vaciar rápidamente en piletas de plomo en donde se solidifica y posteriormente se pulveriza.

Existen varios tipos de sulfato de aluminio usados en la industria papelería; en la siguiente tabla se anotan los análisis de algunos de ellos (6)

La más alta calidad (A) es básica y contiene de 17 a 18% de  $Al_2O_3$  y menos de 0.01% de hierro. El siguiente tipo (B) difiere principalmente en su contenido de hierro. El tipo (C) se prepara a partir de caolín y por lo tanto contiene una alta proporción de material insoluble.



TABLA No. 4

Composición (porcentaje)	A Alta calidad	B Calidad ferrosa	C Calidad caolin
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	17-18	17-18	8.6-8.8
Fe.....	0.01 (máx)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -0.03	0.13- 0.20
Materia insoluble.....	despreciable	0.05	18-20
Agua.....	42	42-43	40-42
Acidez (como H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )....	-----	-----	20-25

El sulfato de aluminio es uno de los materiales no fibrosos que más se usa en la industria papelerá; el sulfato de aluminio se usa en el encolado con brea, en la fijación del color, precipitación o prevención de espuma como agentes endurecedor o como fuente de ácido.

Para fines de encolado las características importantes del sulfato de aluminio son: el contenido de aluminio soluble (puesto que este determina en parte la cantidad requerida y la composición del encolado precipitado). La acidez (que determina la eficiencia de la precipitación, aunque si es demasiado alta disminuirá la vida del papel), el contenido de hierro (que afecta la estabilidad del color en el papel). El efecto real del hierro en el sulfato de aluminio todavía esta sujeto a cierta duda. Existen opiniones de que un sulfato de aluminio de alta calidad no debe contener más de 0.003% de hierro, y de que el hierro (como resinato) no debe exceder de 0.04% del contenido de resina (6) Sin embargo, mientras estos límites posiblemente pueden justificarse en unos cuantos papeles especiales (por ejemplo, papeles fotográficos), en los que la pureza química es

de especial importancia, difícilmente se pueden aplicar a la mayoría de papeles "finos" puesto que la cantidad de hierro debida al sulfato de aluminio es despreciable comparandola con la proveniente de otras fuentes (por ejemplo otros productos y equipo).

Otra autoridad ( 6 ) sugiere que la concentración límite del hierro ferrico es de 0.4 a 0.5%, pero es preferible que en cada fábrica se fije el límite de acuerdo con las necesidades propias

3.- SILICE ACTIVADA .- La sílice activada es un polisilicato cargado negativamente, es decir un polielectrolito aniónico, que se prepara mediante la neutralización parcial hasta un pH de 6 a 7 de una concentración de silicato de sodio .

El silicato de sodio varia su composición , con formulas específicas, de acuerdo con el uso particular . La formulación mas frecuente empleada en el tratamiento de aguas, contiene 3.329 lb. de  $\text{SiO}_2$  (28.7%) y 1.08 lb. de alcali (8.9%) expresado como  $\text{Na}_2\text{O}$  por galón, la diferencia entre el peso de estos ingredientes combinados y el peso de un galón de silicato de sodio (11.6 lb.) representa la cantidad de agua presente .

Para producir la sílice activada el álcali en el silicato de sodio es total o parcialmente neutralizado, Si el radical ácido como reactante es agregado directamente a la solución del silicato de sodio .

La sílice activada es preparada, mezclando el silicato de sodio con agua y el activador químico . El producto resultante es un sol que contiene partículas coloidales de sílice llamados "micelos" se incrementan en tamaño cuando se mezcla y se deja envejecer . Posteriormente la solución se diluye; y finalmente es agregada, esta mezcla al proceso de coagulación .

Existen varios activadores químicos, para la preparación de la sílice por ejemplo: ácido sulfúrico, cloro, sulfato de amonio, bicarbonato de sodio, etc.

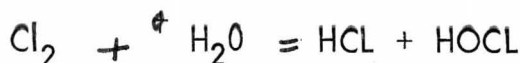
Activación por cloro; En la activación con cloro, el silicato de sodio es diluido con agua que contiene la cantidad apropiada de cloro, y el alcali es parcialmente o totalmente neutralizado.

La solución neutralizada es añejada por un período corto (tiempo de gelación) y posteriormente es diluida, y agregada al punto de aplicación.

Teoría y método de activación: El hidrósol de la sílice activada se prepara por la reacción parcial o total del óxido de sodio contenido en el silicato de sodio. El proceso comprende la reacción de una cantidad proporcional de silicato de sodio el cual tiene una composición química de la siguiente manera:

$\text{Na}_2\text{O}:\text{SiO}_2$	1:3.2
$\text{Na}_2\text{O}$	8.9 %
$\text{SiO}_2$	28.7 %
$\text{H}_2\text{O}$	62.4 %
Densidad	11.6 lb/gal. (41°BE)
Sp. Gr.	1.395

El activador que tiene parte en esta reacción es el cloro:



La activación o el crecimiento de los micles coloidales ocurre, y dejan en libertad una cantidad de sílice .

El grado de activación se controla por la dilución inicial del silicato, por el grado de moles activadas de  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  y por la temperatura de la reacción .

La estabilidad coloidal del  $\text{SiO}_2$  se logra con una dilución secundaria con agua, Después de un cierto período de envejecimiento y a una cierta dilución inicial; la solución coloidal es diluida con un 33% más de agua .

Uno de los beneficios adicionales que se obtienen, cuando se usa cloro como activador es que este no se pierde, puesto que se aprovecha como agente esterilizador en la forma de hipoclorito de sodio (  $\text{NaOCl}$  ) y también en la forma de ácido hipocloroso (  $\text{HOCl}$  ). Obtenidos en la reacción de activación del silicato de sodio; como se muestra en las reacciones anteriores .

En el punto de aplicación el pH de la solución producida por este método su rango es aproximadamente de 7.0 a 8.5

Aplicación: La aplicación de la sílice activada como ayudante en la coagulación, en el tratamiento de aguas blancas o tratamiento de aguas en general a dado muy buenos resultados; por que ayuda al crecimiento de los floculos .

La dosis de aplicación de la sílice activada es expresada en terminos de la cantidad de  $\text{SiO}_2$  agregada .

Como cada galón de silicato de sodio contiene 3.329 lb. de  $\text{SiO}_2$  es necesario agregar 2.52 galones de silicato de sodio para aplicar 1.0 ppm .

La dosis aplicada para el tratamiento de agua esta en función del tipo de agua blanca y de la calidad de agua que se desea obtener, en función de las necesidades del proceso.

Estas dosis de este producto, así como de cualquier producto usado para el tratamiento de agua u otro fin determinado, es determinada con pruebas del tipo de "JARRA" en el laboratorio.

4.- El cloro es un gas amarillo verdoso, aproximadamente 2.5 veces más pesado que el agua. El cloro es usado como agente desinfectante en el tratamiento de aguas, puede aplicarse como gas o como solución.

Cuando se añade cloro o sus compuestos desinfectantes al agua se desprenden las siguientes sustancias: ( 7 )

1.- Acido hipocloroso ( $\text{HOCl}$ ), ion hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ) y el cloro molecular ( $\text{Cl}_2$ ). La distribución de las tres especies depende del pH. El cloro molecular procedente del cloro gaseoso, sólo perdura un instante dentro de la zona del pH normal. Las dos especies prevalentes son ( $\text{HOCl}$ ) y ( $\text{OCl}^-$ ) y se denomina en la práctica cloro libre disponible.

2.- Monocloraminas ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ), dicloraminas ( $\text{NHCl}_2$ ) y tricloruro de nitrógeno ( $\text{NCl}_3$ ). El amoníaco y el nitrógeno orgánico, son esenciales para la producción de éstos compuestos. De igual manera que en el caso anterior el pH es de gran importancia.

El cloro también actúa como agente oxidante fuerte, el cloro reacciona con las sustancias reductoras para producir la demanda de cloro. Dependiendo de la naturaleza, de las sustancias presentes en el agua, el átomo de cloro, al ganar electrones, sufre un cambio a ión cloruro o a un cloruro orgánico. Las sustancias pueden incluir ion fierro ( $\text{Fe}^{++}$ ), ( $\text{Mn}^{++}$ ), ( $\text{H}_2\text{S}$ ), junto con la mayor parte del material orgánico. Las sustancias inorgánicas generalmente reaccionan en forma rápida y estequiométricamente: la respuesta del

materias orgánicas es generalmente lenta, y su grado de alcance depende de la cantidad de cloro disponible que se encuentre presente en exceso de la cantidad requerida.

Estas reacciones constituyen factores que complican, el proceso de la cloración del agua. Se debe agregar suficiente cantidad de cloro para llevar a cabo dichas reacciones, así como también las reacciones de desinfección.

Para asegurar lo anterior se toma como norma de referencia, la cantidad de cloro residual remanente, después de un tiempo específico de contacto, en vez de la dosis inicial de cloro.

En la mayor parte de las pruebas se especifican diez minutos de tiempo de contacto, para llevarse a cabo las reacciones antes mencionadas; además del tiempo, existen otros dos factores de gran importancia, que son la concentración y la temperatura.

La determinación del cloro residual, es por métodos colorimétricos. Una de las pruebas más comunes es mediante el método de la O-TOLIDINA Y ARSENITO.

La prueba se basa en la diferencia favorable que existe -- en la velocidad de reacción del cloro libre disponible con la O-TOLIDINA. Se agrega arsenito de sodio que es un agente reductor; para detener la reacción después de que el cloro libre disponible -- ha reaccionado y cuando menos, aproximadamente antes de que haya reaccionado el cloro libre combinado.

## EQUIPO Y DOSIFICACION DE CLORO

Independientemente de la forma de aplicación del cloro, es decir en forma gaseosa o en solución; la cantidad o dosificación se regula mediante aparatos especiales, llamados cloradores. Existe en el mercado varias firmas especializadas en el manejo de este equipo.

Cuando el consumo de cloro es una cantidad apreciable - se prefiere comprar en forma de gas licuado. En el mercado se encuentra disponible en cilindros de acero de 45, 68 y 90 kg. que se almacenan en posición vertical y también de 908 kg. que se almacenan en posición horizontal y colocados sobre soportes de acero o concreto, pero evitando poner uno encima de otro.

Una norma de seguridad de gran importancia para el almacenamiento y manejo de recipientes con cloro, es de que nunca se almacenaran los cilindros con cloro cerca de alquitran, eter, amoniac, hidrocarburos y otros materiales inflamables.

El cloro es un gas muy soluble y la función del clorador es medir, disolver y alimentar la dosificación requerida de cloro al agua que se está tratando. La dosis de cloro varia en función de la demanda de agua. De una manera general la dosis varia desde 1.0 hasta 10 partes por millon.

Despues de un periodo de contacto determinado, el agua debe mostrar una cantidad de cloro residual de 0.1 a 0.2 partes -- por millon.

La dosis que se empleara es de 10mg/litro, susceptible de variación.

La siguiente ecuación es adecuada para el calculo de la demanda de cloro.

$$\frac{(\text{Litros/ Dia}) (\text{ppm})}{10^6} = \text{Kg. de cloro/Dia.}$$

$$\begin{aligned} \text{Volumén de agua tratada} &= 3800 \text{ M}^3/\text{Dia.} \\ \text{Dosificación de cloro} &= 10 \text{ ppm.} \end{aligned}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación anterior, tendremos:

$$\frac{(3800000 \text{ L/Día}) (10 \text{ ppm})}{10^6} = 38.0 \text{ kg, de cloro/Día.}$$

Debido a la importancia de tener un efluente siempre bien dosificado, es conveniente el uso de cloradores automáticos, que sean capaces de variar la dosificación con el cambio de caudal.

Después de una breve descripción de los productos químicos utilizados, para la floculación y coagulación; daremos una ligera explicación del mecanismo de floculación, así como también de las pruebas tipo jarra llevadas a cabo en el laboratorio.

La floculación consiste en un atrapamiento mecánico de las partículas aglomeradas por adsorción sobre los floculos formados con los coagulantes químicos y también por puentes moleculares formados por los mismos coagulantes.

La velocidad de coagulación depende principalmente, sobre el número de contactos, entre las partículas de la fase sólida por unidad de tiempo, y está a su vez es función de la velocidad de agitación; ya que esta velocidad de agitación determina el tamaño del floculo formado (7)

Debido a que las aguas blancas, varían constantemente en su composición, la floculación y coagulación necesarias, se determinaran por pruebas de laboratorio, mediante las llamadas pruebas "en jarras".

Las pruebas antes mencionadas fueron hechas en un agitador múltiple de paletas, de velocidad variable de 0 a 100 revoluciones por minuto.

Debido a que la coagulación depende de tantas variables



que son interdependientes por si mismas; se deberán mantener constantes todos los parámetros de prueba que sean posibles; tales como: pH, temperatura, agitación, etc.

El pH tiene una gran importancia, en el comportamiento de los coagulantes, para controlar el grado de hidrólisis y de ionización de los mismos, para obtener una buena coagulación y floculación.

La temperatura, es también una variable importante; pues to que su mal control produciría corrientes no deseables en el seno del líquido.

La agitación es una variable de suma importancia; ya que el grado de agitación está en función directa de una buena o mala floculación; este movimiento o agitación se inicia tan pronto como se agrega el coagulante químico. Este primer paso recibe el nombre de mezclado. Este paso describe la operación de revolver, combinar o incorporar los productos químicos con el agua blanca; con el fin de crear un sistema homogéneo.

Posteriormente se le proporciona una agitación lenta por un tiempo más prolongado, con el fin de obtener una conjunción de las partículas en suspensión.

El tiempo de mezclado usado en este tipo de pruebas, fue de dos minutos, usando agitadores de paletas a una velocidad de -- 100 revoluciones por minuto, Posteriormente se le dio una agitación lenta por espacio de tres minutos.

Se tomaron muestras de un litro de agua problema y se colocaron en vasos de precipitado; estos vasos se montaron en el agitador múltiple, como semuestra en el esquema No. 2

El primer vaso se tomo como referencia, es decir sin agregar ningun producto químico. En los siguientes vasos se hizo variar

la dosificación, del sulfato de aluminio, polielectrolito y sílice - activada, con el fin de encontrar la dosis óptima de todos y cada uno de los productos químicos agregados; teniendo como meta principal, el costo más bajo del tratamiento, sin disminuir la calidad del agua del límite necesario para el proceso.

Los resultados obtenidos se encuentran tabulados en las tablas siguientes:

TABLA No. 5

Estos valores representan datos promedios de varias corridas llevadas a cabo. En estas pruebas se hizo variar la dosificación del sulfato de aluminio, permaneciendo constantes los demás productos.

Las unidades utilizadas en la dosificación de los productos químicos usados son: denominadas como partes por millón del producto químico utilizado.

Prueba No.	Sulfato de Aluminio	Sílice Acti- vada	Polielectrolito de Acrilamida.
1	60	16	1.0
2	100	16	1.0
3	135	16	1.0
4	150	16	1.0
5	170	16	1.0

TABLA No. 6

Al igual que la tabla anterior, estos valores representan datos promedios de varias corridas. En estas pruebas se hizo variar la dosificación de sílice activada, permaneciendo constantes los demás reactivos.

Prueba No .	Sulfato de Aluminio	Sílice Acti- vada	Polielectrolito de Acrilamida
1	150	12	0.70
2	150	14	0.70
3	150	16	0.70
4.	150	18	0.70
5	150	20	0.70

TABLA No. 7

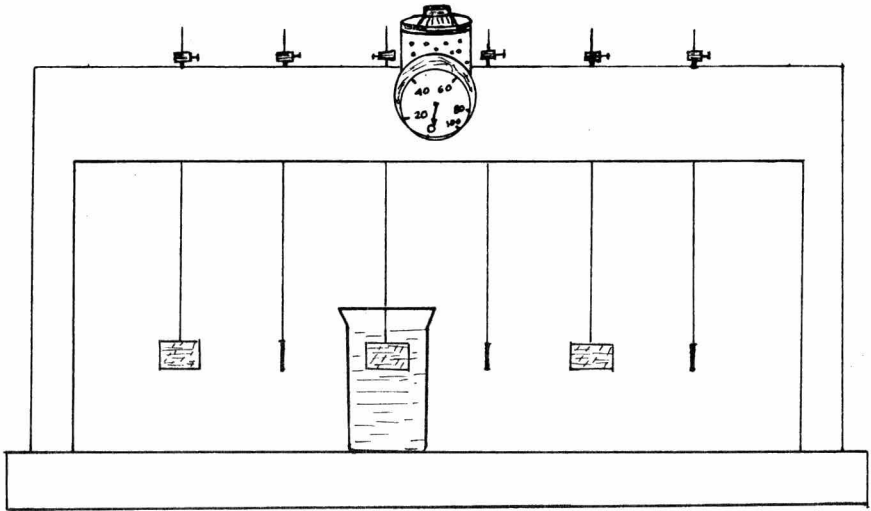
En esta serie de pruebas se hizo variar la dosificación del polielectrolito permaneciendo constantes los restantes respectivos.

Prueba No .	Sulfato de Aluminio	Sílice Acti- vada	Polielectrolito de Acrilamida
1	150	14	0.40
2	150	14	0.50
3	150	14	0.60
4	150	14	0.70
5	150	14	0.80

De acuerdo a los datos antes mencionados de las tres series de pruebas; se encontro: que para las características del agua blanca por tratar, que se mencionaron en el capítulo anterior; y en función de la calidad deseada para el agua clara, para ser reutilizada en el proceso de la fabricación del papel.

Los resultados optimos fueron:

Dosificación de Sulfato de Aluminio.....150 ppm.  
 Dosificación de Sílice Activada..... 14 ppm.  
 Dosificación de polielectrolito de Acrilamida... 0.7 ppm.



AGITADOR MULTIPLE

TESIS PROFESIONAL		
URBANO FERNANDEZ LOPEZ		
AGITADOR MULTIPLE		
F.Q.	DIAGRAMA No 2	U.N.A.M.

B).- Pruebas para determinar las velocidades de sedimentación.

Para obtener una buena sedimentación es necesario obtener primero una buena coagulación o aglomeración de cargas, fibras y fibrillas contenidas en el agua blanca.

Estas partículas en estado muy disperso o coloidal, se sedimentan lentamente; mientras que en forma de floculo o grumo, — decantan rápidamente.

El estudio teórico de la sedimentación se rige por la ley — de STOKES. La cual esta representada por la siguiente ecuación.

$$v = (0.22)r^2 \frac{\gamma_2 - \gamma}{\eta}$$

$v$  = Velocidad relativa entre el líquido y el sólido

$r$  = Radio del floculo supuesto esférico

$\eta$  = Viscosidad del medio

$\gamma_2$  = Peso específico del sólido

$\gamma$  = Peso específico del líquido

La ecuación anterior indica que la velocidad de sedimentación aumenta con el peso específico del sólido y disminuye con la viscosidad del medio. Es decir que la presencia de materia sólida aumenta el peso específico de los floculos, favoreciendo la sedimentación.

La materia orgánica y los floculos formados por los coagulantes químicos, tienden a aglomerarse, formando cúmulos de diferente tamaño, forma y peso; normalmente éstos se sedimentan con mayor rapidez que las partículas que los forman.

La mayor parte de los agregados floculentos formados en las aguas blancas, son relativamente fragiles. Por lo cual es necesario mantener un control muy estricto en la agitación, para evitar que dicho flóculo se rompa.

La composición tamaño-peso de una suspensión, se puede expresar por la distribución de las frecuencias de las velocidades de sedimentación de las partículas constituyentes. La distribución se obtiene midiendo la concentración de las partículas antes y durante la sedimentación de reposo. Para llevar a cabo estas determinaciones, se usan recipientes cilíndricos, especialmente de vidrio o de plástico transparente, tales como vasos de precipitado, probetas graduadas o un tubo de plástico especialmente diseñado, según (9)

La razón por la cual los recipientes utilizados, para llevar a cabo dichas determinaciones sean de vidrio o de plástico transparente; es para observar los fenómenos que ocurren en el período de asentamiento de las suspensiones floculentas.

Las pruebas llevadas a cabo en el laboratorio, consistieron en determinar las velocidades de sedimentación de las suspensiones floculentas.

En primer lugar se determino la altura de interface entre la superficie del liquido claro y la suspensión de los sólidos, como una función del tiempo, para una determinada concentración de sólidos, contenidos en el agua blanca; para éste caso en especial se tomo una concentración promedio de 1.20 g/ litro de sólidos suspendidos. La temperatura se mantuvo constante a 20 oC.

Los resultados obtenidos son tabulados en la tabla No. 8

Las unidades de la interface (H) son expresadas en centímetros y las unidades de (T) son expresadas en minutos.

H	20.50	17.50	16.30	10.00	7.00	5.00	4.00	2.80
t	0.00	2.0	3.0	6.0	12.0	24.0	40	120

## CAPITULO No. V

### CALCULO DEL EQUIPO

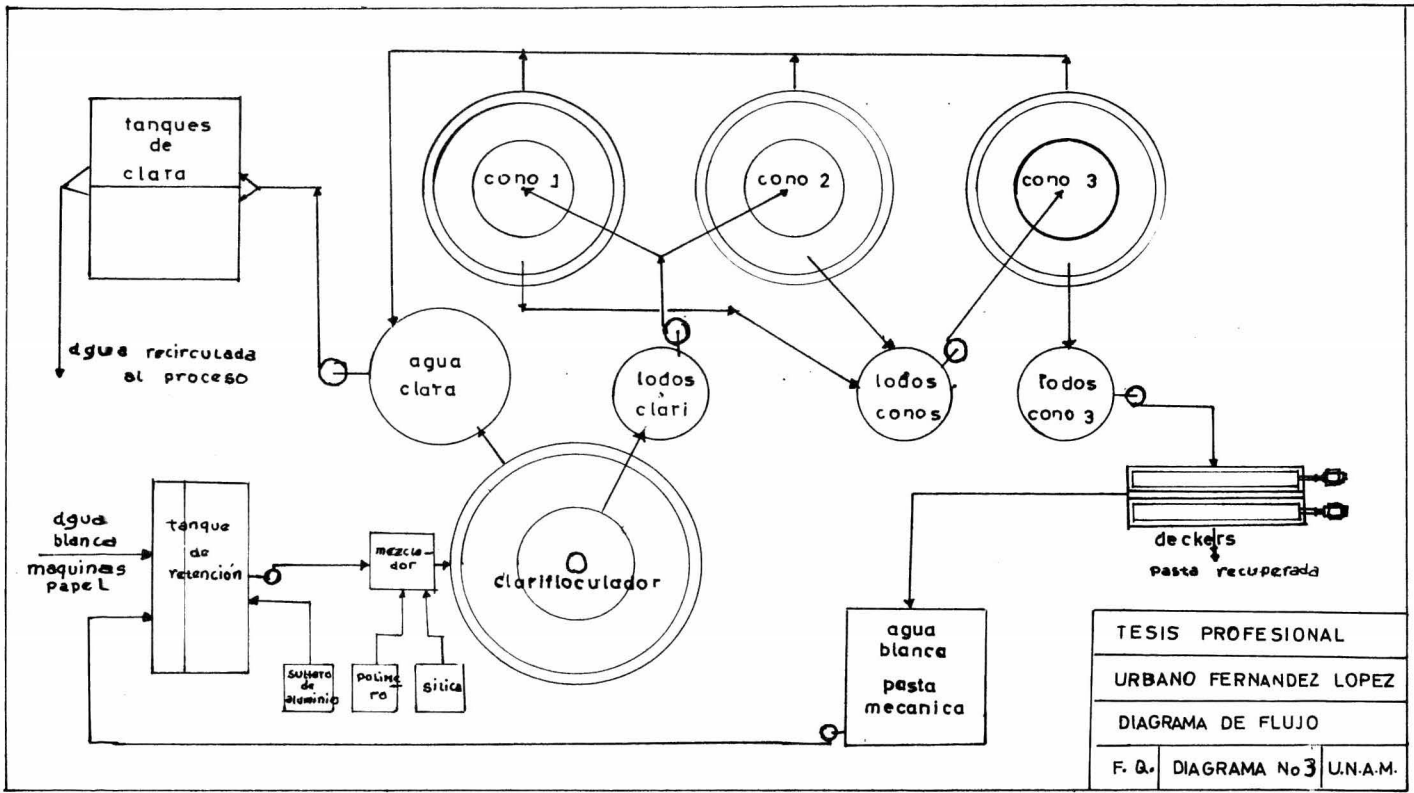
Actualmente en México no se construye este tipo de equipo en su totalidad. Parte del equipo se puede construir como son tanques de acero, concreto armado. Pero en general este equipo se encarga a firmas que tengan la experiencia necesaria, para poder decidir por el tipo más conveniente; pero es necesario que el consumidor, siempre efectue una serie de cálculos, capaces de informarle las dimensiones aproximadas del equipo y del tipo de que se trate.

En nuestro caso se llevo a cabo una serie de pruebas de laboratorio y se acudio para mejor información a varias firmas que trabajan este tipo de equipo, para obtener datos más reales.

Las pruebas que se mencionan antes se refieren a pruebas de laboratorio de las llamadas tipo jarra, para determinar velocidades de sedimentación, concentraciones de efluentes y características generales.

De acuerdo con el diagrama No. 3 en donde se enumeran las partes principales del equipo en el sistema de tratamiento de agua.

- 1.- Tanque sedimentador (CLARIFLOCULADOR)
- 2.- Tanque alimentador al clarifloculador
- 3.- Tanques recolectores de agua clara y lodos.
- 4.- Bombas
- 5.- Tanques sedimentadores por gravedad ( CONOS )
- 6.- Equipo dosificador de productos químicos
- 7.- Válvulas y accesorios.



TESIS PROFESIONAL		
URBANO FERNANDEZ LOPEZ		
DIAGRAMA DE FLUJO		
F. Q.	DIAGRAMA No 3	U.N.A.M.



1.- Tanque sedimentador " clariflóculador ". Este equipo es la unidad base del tratamiento; su diseño y cálculo esta en función directa del tipo de efluente de cada planta, condiciones locales y el tipo de coagulantes usados. Además de estos factores existen otros para una selección correcta del equipo, según ( 15 )

Estos factores son: volumen de agua por tratar, velocidad de sedimentación y tiempo de retención .

Existe una gran variedad de tanques sedimentadores; pero para el caso particular . El tipo de equipo más recomendable — para tratar grandes volúmenes de agua, con determinado porcentaje de sólidos en suspensión, según firmas especializadas es el de lechos suspendidos .

El principio básico de este tipo de equipo; es que el agua se filtra en flujo ascendente, através de un lecho de lodos suspendidos, formado por los productos precipitados previamente sedimentados .

El clarifloculador es una unidad combinada, consistente de un tanque floculador y un mecanismo de agitación instalado con centricamente a un tanque clarificador convencional .

Sus aplicaciones son variadas, se puede usar para tratamiento de aguas industriales, drenajes, en la industria química, en la industria minera, y en general en donde se requieren procesos de asentamiento por floculación .

El tanque floculador, así llamado por que es donde tiene lugar la formación de flóculos, tiene una agitación adecuada para para una mejor formación de flóculos . Es aquí donde tienen lugar todos los fenómenos que ocurren y que ya han sido citados en capí tulos anteriores .

La segunda etapa, la llamada etapa de clarificación es -- donde tienen lugar los fenómenos de filtración, a través del lecho -- de sólidos suspendidos. En este tanque clarificador, existe un meca-- nismo que consiste en una serie de rastrillos, que recolectan los sólidos tan pronto como estos se sedimentan, acarrendolos hacia la -- parte central, por donde son desalojados.

La alimentación del efluente a este tipo de equipo, se ha -- ce por la columna central, que es un tubo concéntrico que va des-- de el fondo del tanque; y que a su vez sirve como soporte de la es-- tructura, que se encuentra en la parte superior del tanque clariflo-- culador. La entrada de agua al tanque floculador es por la parte -- superior, descargando sobre la superficie del líquido, a través de -- unas aberturas en dicha columna, Esto es con el fin de evitar la -- formación de corrientes no deseables, para una mejor formación de los flocúlos

El mecanismo de agitación en el tanque floculador es pro-- ducido por baffles y móviles, para proporcionar un movimiento sua -- ve y controlable, para una mejor formación de los flocúlos. Por es -- ta acción los flocúlos perfectamente formados atrapan a las particu -- las finamente divididas que flotan en el seno del líquido.

El líquido completamente floculado fluye a través del le -- cho de lodos formado del tanque floculador al tanque clarificador. El líquido clarificado es derramado por un vertedero en la perife -- ría del tanque clarificador el cual, es recolectado y bombeado a tanques de almacenamiento para posteriormente usarse en el proce -- so.

El principio básico de operación de este tipo de tanques clarifloculadores, se observa en los diagramas Nos. 4 y 5 y más -- explícitamente en la bibliografía ( 10 )

El método utilizado para el cálculo de este tipo de equi -- po esta basado principalmente en la teoría de "KYNCH" para sus -- pensiones diluidas en partículas coagulantes.

La velocidad de caída de una partícula depende únicamente de la concentración local  $C$  en dichas partículas.

Cuando se realizan pruebas en el laboratorio en un tubo de altura y diámetro suficientes, y se mide la altura de la capa superior del fango en función del tiempo; se obtiene una curva como se muestra en la fig. No. 1 llamada de asentamiento libre, que muestra las siguientes fases:

De A-B, la superficie de separación es más o menos neta: es la fase de coalescencia de los flocúlos.

Esta fase, a veces no existe.

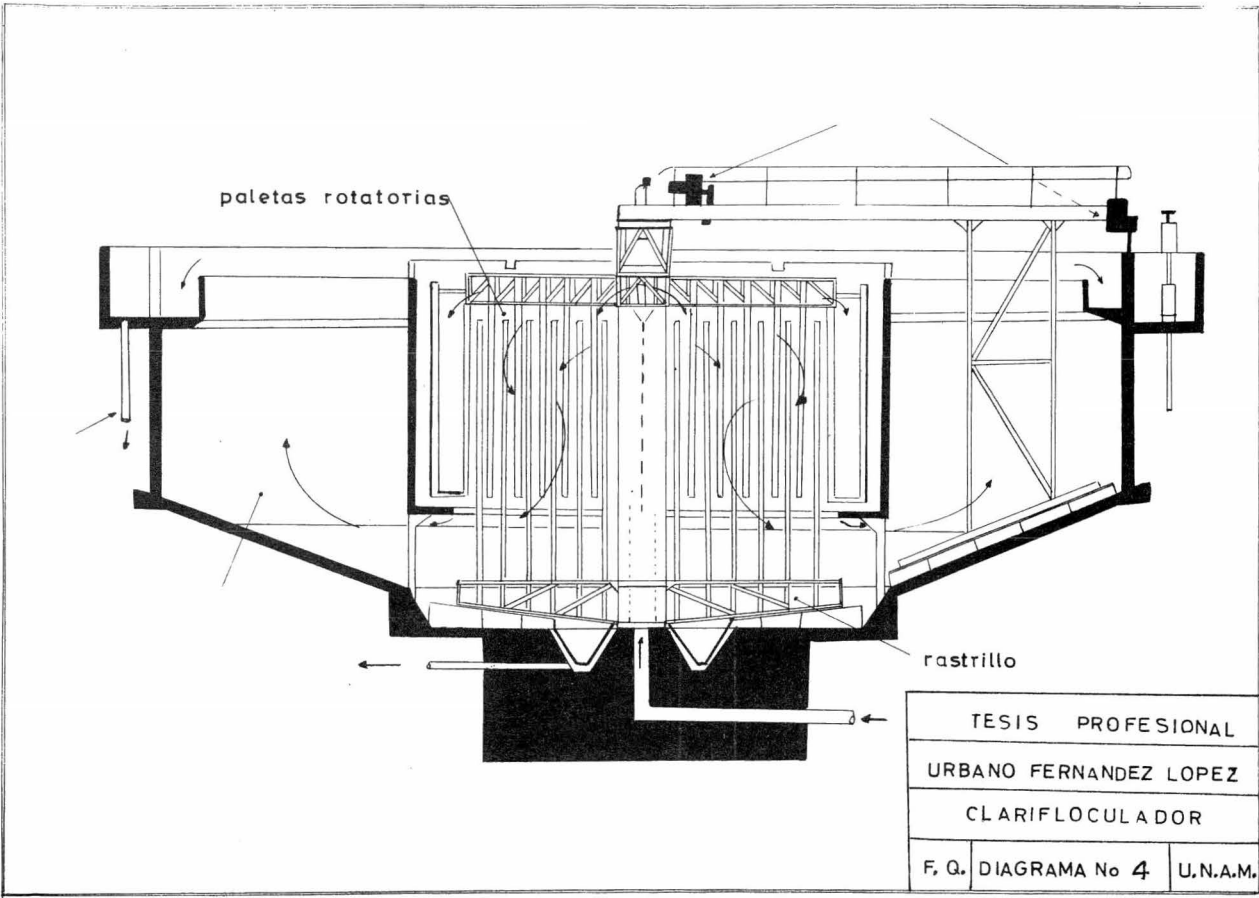
De B-C, es una parte rectilínea que comprende a una velocidad de caída constante ( $V_0$ ) que es la pendiente de la recta, --  $V_0$ , es función de la concentración inicial de sólidos y del tipo de floculación de la suspensión. Cuando la concentración inicial aumenta, la velocidad de sedimentación  $V_0$  de la masa disminuye.

De C-D, corresponde a una disminución progresiva de la velocidad de caída de la capa superior del fango.

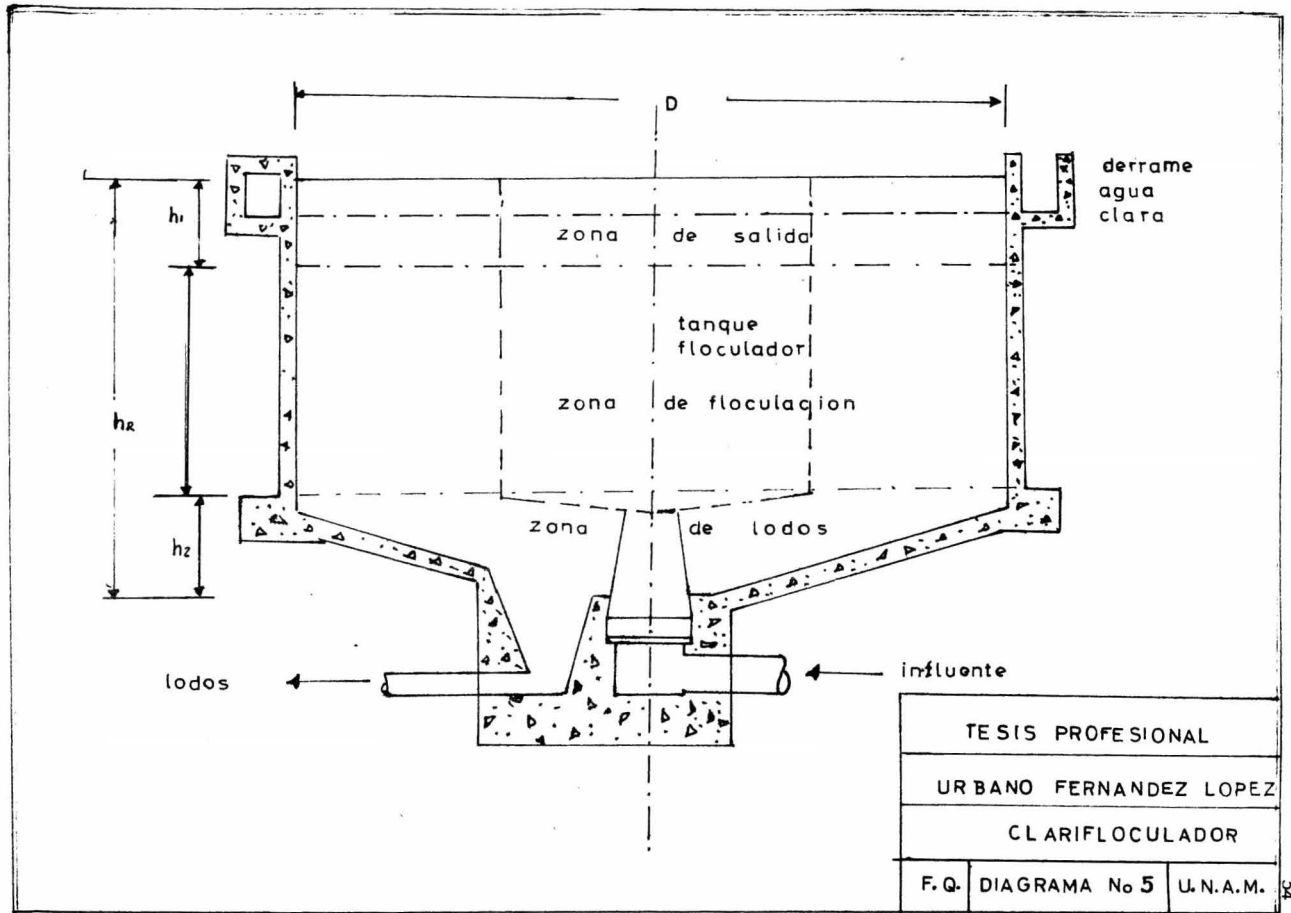
De D- E, los flocúlos se tocan, y ejercen una compresión sobre las capas inferiores.

Así como se incrementa la concentración de la suspensión se llega a una concentración en que las partículas asentantes más rápidas forman una zona y se asientan entonces colectivamente y a una velocidad reducida. Si la concentración se incrementa más aún, esta zona se forma progresivamente en períodos anteriores hasta llegar a un punto en donde el asentamiento inicial es colectivo y no se observa movimiento de partículas individuales.

Para concentraciones como estas o mayores se forma una superficie de contacto ( interfaz ) distinta entre las partículas asen-



TESIS PROFESIONAL		
URBANO FERNANDEZ LOPEZ		
CLARIFLOCULADOR		
F. G.	DIAGRAMA No 4	U.N.A.M.



TESIS PROFESIONAL		
URBANO FERNANDEZ LOPEZ		
CLARIFLOCULADOR		
F. Q.	DIAGRAMA No 5	U. N. A. M.

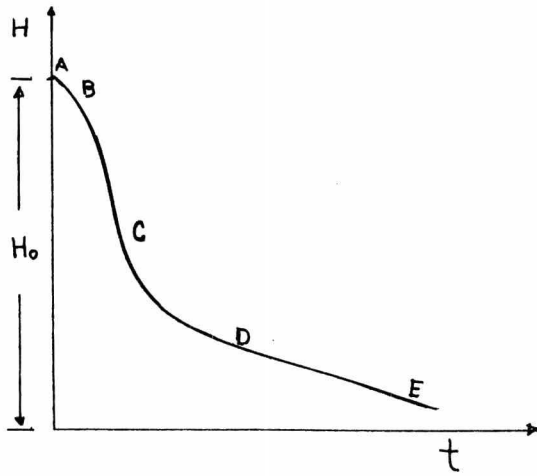


FIG. No. 1

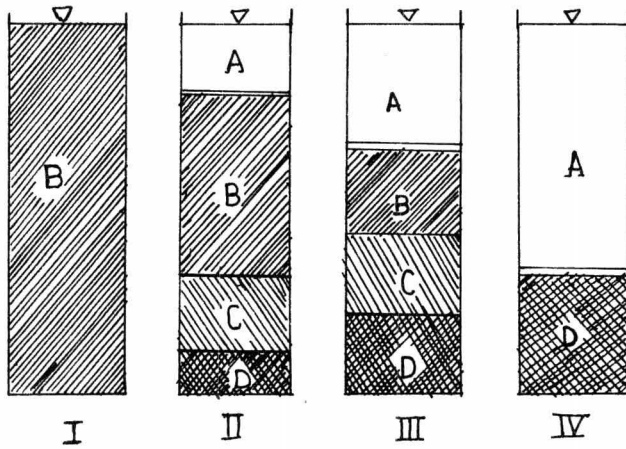


FIG. No. 2

tantes y el líquido clarificado .

La posición de tal interfaz varia con el tiempo en una manera similar a la descrita en la Fig. No. 2

Todos los procesos de asentamiento producen cuatro zonas, cada una con sus características particulares ( 18 ) La fig. No. es un bosquejo que muestra las posiciones relativas de las diferentes zonas, así como se forman a diferentes intervalos de tiempo, en una suspensión coagulante espesa .

Inicialmente la concentración es uniforme en toda la suspensión . La suspensión con la concentración inicial esta marcada con la letra B inmediatamente se desarrolla una interfaz sólido-líquido, y una zona de líquido clarificado marcado con la letra A .

En la zona B las partículas se asientan a una velocidad — uniforme, bajo condiciones de asentamiento no libre . La suspensión en esta zona permanece constante para concentraciones uniformes y la magnitud de la velocidad a la que se asientan las partículas es — una función de la concentración  $V = (c)$

donde  $V$  = velocidad de asentamiento

$C$  = concentración de la suspensión

Al mismo tiempo, de la formación de la zona A, se forman las zonas C y D, la zona C, es una zona de transición através de la cual la velocidad de asentamiento decrece, como resultado de un incremento en la concentración de los sólidos .

Cuando la suspensión llega a ser tan concentrada, hasta el punto en que los sólidos queden soportados mecánicamente por los inferiores, formando parte de la zona de compresión D.

De donde concluiremos: que para sedimentaciones de flujo continuo, la superficie requerida para separar suspensiones concentradas, se base principalmente en dos factores: La capacidad — de clarificación, y la capacidad de espesamiento, ambos pueden — ser estimados por pruebas de asentamiento.

La capacidad de clarificación se estima de la forma en — que la interfaz sólido-líquido se asienta. El area de un tanque de flujo continuo debe ser suficiente grande para que la velocidad del líquido saliente ( calculada sobre la base del líquido en derramé ) sea menor que la volòcidad de asentamiento.

La capacidad de espesamiento es calculada con una rela— ción desarrollada de un análisis racional del comportamiento de una suspensión, sujeta a un asentamiento por etapas.

Inicialmente la concentración es la misma en toda la sus— pensión, y los sólidos se asientan a una velocidad uniforme. Antes de que los sólidos se depositen en la base de la columna de asen— tamiento, deben pasar atravez de todas las concentraciones, que van desde la inicial, hasta la de los sólidos depositados en el fondo.

Haciendo un análisis de una sección transversal de una ca— pa de concentración, surgiendo atravez de una columna de asen— tamiento.

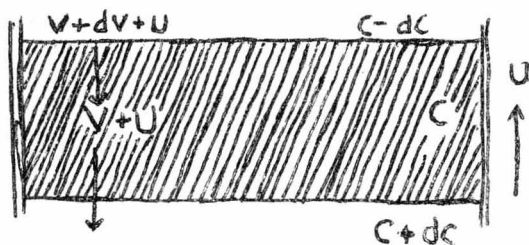


FIG No 3



Consideremos ahora la parte superior de dicha capa delgada de concentración  $C$ , que fue formada en la masa de suspensión para  $t = 0$ , y la que surge a través de la columna a una velocidad  $V$ . Los sólidos se asientan en esta capa desde otra con una concentración  $(C-dC)$ , y a una velocidad con respecto a la columna de  $(V+dV)$ , pero con respecto a la capa de  $(V+dV+U)$ .

Los sólidos se asientan fuera de la capa a una velocidad  $V$  con respecto al recipiente, y  $(V+U)$  con respecto a la capa misma.

Ya que la concentración  $C$  permanece constante en la capa, la cantidad de sólidos que se asientan en la capa deberá ser necesariamente igual al asentamiento fuera de la capa.

$$(C-dC) A t (V+dV+U) = C A t (V+U) \dots\dots\dots 1$$

$A$  = Area de la sección transversal perpendicular a la dirección del movimiento de los sólidos

$t$  = Tiempo

Resolviendo para  $U$ , y simplificando, tenemos:

$$U = CdV/dC - V - dV \dots\dots\dots 2$$

Despreciando el término infinitesimal  $dV$ , tenemos:

$$U = CdV/dC - V \dots\dots\dots 3$$

De acuerdo con la ecuación No. 1 la velocidad de asentamiento bajo condiciones no libres, es una función de la concentración. La ecuación No. 4 por sustitución viene siendo entonces:

$$dV/dC = f(C) \dots\dots 4 \text{ de donde:}$$

$$U = C f(C) - f(C) \dots\dots 5$$

La concentración de la capa bajo consideraciones permanece constante. Ya que  $f(C)$  y  $F(C)$  tienen valores fijos,  $U$  también debe permanecer constante. El hecho de que la velocidad  $\bar{U}$ , a la que viaja hacia arriba la capa de concentración de los sólidos de la capa de fontera superior de una suspensión sedimentable.

Si una columna de altura  $H_0$  es llenada con una suspensión con una concentración uniforme  $C_0$ , el peso total de los sólidos en la suspensión es igual a  $C_0 H_0 A$ . Así como la suspensión se asienta, las capas de concentración se propagan hacia arriba de la base. Al tiempo que cualquier capa de concentración alcanza la interfaz sólido-líquido, todos los sólidos habrán pasado a través de ella. Si  $t_2$  es el tiempo requerido por una capa de concentración  $C_2$  para alcanzar la interfaz, entonces la cantidad de sólidos que han pasado a través de la capa es:

$C_2 A t_2 (V_2 + U_2)$ , la que debe ser igual al peso total de los sólidos en la columna.

$$C_0 H_0 A = C_2 t_2 (V_2 + U_2) \dots\dots 6$$

Si  $H_2$  representa la altura de la interfaz a un tiempo  $t_2$  y dado que se ha probado que la velocidad ascendente de cualquier capa específica es constante.

$$U_2 = H_2 / t_2 \dots\dots 7$$

Sustituyendo la ecuación No. 7 en ec. No. 6 y reordenando:

$$C_2 = C_o H_o / H_2 + V_2 t_2 \quad \dots \dots 8$$

En una gráfica de la altura de interfaz como una función del tiempo. La pendiente  $dH/dt$  en cualquier punto a lo largo de la curva, es igual a la velocidad a la que se asienta la interfaz, para ese punto particular.

Por ejemplo para el punto  $t_2$ , tenemos:

$$V_2 = H_1 - H_2 / t_2 \quad \dots \dots 9$$

$$V_2 t_2 = H_1 - H_2 \quad \dots \dots 10$$

Sustituyendo el termino de la derecha de esta expresión en la ec. No. 8 tendremos:

$$C_2 H_1 = C_o H_o \quad \dots \dots 11$$

El termino  $H_1$  puede ser interpretado como la altura a la que la columna de sedimentos llegaría, si todos los solidos en la columna tuvieran la misma concentración que los de la interfaz.

Para cualquier valor de  $C_2$  puede ser calculado el valor correspondiente de  $H_1$  ( 14 )

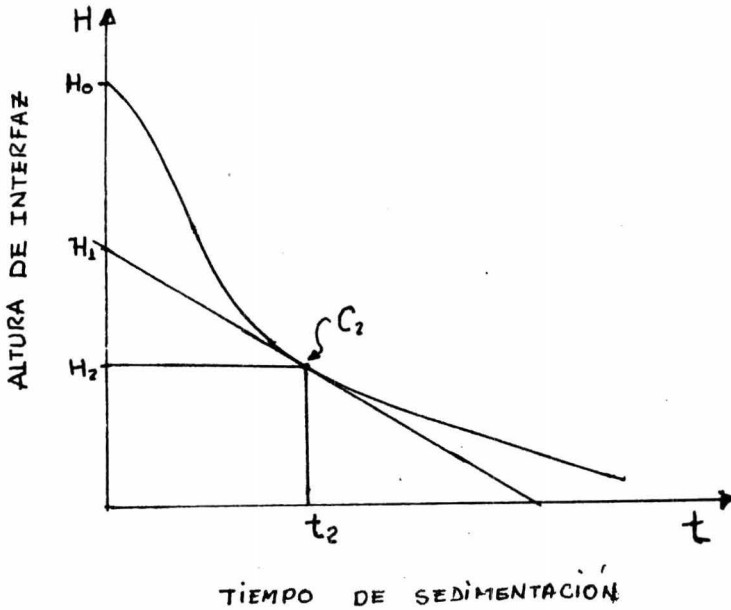


FIG. No. 4  
Determinación del área:

Para un tanque clarifloculador cilíndrico de sección transversal  $A$ , alimentado por un caudal de entrada  $Q_o$  con una concentración  $C_o$ , en materiales sólidos y por su parte inferior se extrae un caudal de lodos  $Q_u$ , con una concentración  $C_u$ .

El caudal a la salida, es:

$$Q = Q_o - Q_u \quad \dots\dots 12$$

El balance de materiales para sólidos será:

$$Q_o C_o = Q_u C_u \quad \dots\dots 13$$

Mediante la curva de sedimentación y usando la teoría de "KYN-CH" se puede conocer a un nivel cualquiera: la altura de la interfaz ( $H$ ), la velocidad de sedimentación ( $V$ ), y la concentración ( $C$ ).

En un sedimentador continuo la velocidad de asentamiento de los sólidos, viene incrementada por la velocidad del fluido - que se extrae por el fondo del sedimentador, el flujo sera:

$$F_u = C_u V_f = Q_u C_u / A \dots\dots\dots 14$$

$V_f$  = velocidad del fluido que se extrae en el fondo del sedimentador.

$F_u$  = Flujo de materiales solidos en el fondo

En un nivel cualquier  $i$  en la zona de lodos donde, la concentración es  $C_i$  y la velocidad de sedimentación de las partículas es  $V_i$ , el flujo de sólidos es igual a

$$F_i = C_i (V_i + V_f) \dots\dots\dots 15$$

Existe a un cierto nivel  $L$ , una concentración crítica  $C_L$  que exige una sección máxima  $A_m$  para que las condiciones de evacuación de lodos sedimentados sea satisfactoria. El flujo en este nivel, debe tener un valor máximo de  $F_L$  y la sección del sedimentador sera al menos igual a:

$$A_m = \frac{Q_u C_u}{F_L} \dots\dots\dots 16$$

En donde  $F_L$  = Flujo limite para  $A_m$ .

$A_m$  = Area máxima requerida

De acuerdo con la teoria de "KYNCH" para una concentración de lodos  $C_u$ , el nivel critico de concentración  $C_L$  sera:

Igualando los flujos, se obtiene, por desarrollos matemáticos:

$$F = Q_o C_o / A = (V_1 + V_f) = (Q_o C_o / A / C_o + V_1) \dots\dots 17$$

Siendo  $V_1$  la velocidad media en el punto 1.

El balance de materiales sera:

$$\frac{Q_o C_o}{A} = \frac{V_1}{\frac{l}{C_l} - \frac{l}{C_u}} \dots\dots\dots 18$$

Como ya se menciona a principio de este capítulo, que los calculos para el diseño de este tipo de tanques, esta basado en tres principios fundamentales.

- a).- Velocidad de sedimentación
- b).- Volumen de agua por tratar
- c).-Tiempo de retención.

De acuerdo con la teoria antes mencionada, se llevara a cabo el diseño para el cálculo del clarifloculador.

Los resultados de las pruebas, de velocidad de asentamiento son tabulados en la tabla No. 8 Estos resultados son valores promedio, de una serie de pruebas, que suponemos son representativos, para fines de cálculo del equipo indicado arriba.

Los valores representan la altura de interfaz (H), en función del tiempo ( t ).

TABLA No. 8

H	20.50	17.50	16.30	10.00	7.00	5.00	4.00	2.80
t	0.00	2.00	3.00	6.00	12.00	24.00	40.00	120.00

Las unidades son: la altura de interfaz esta expresada en centímetros, y el tiempo de asentamiento, esta expresado en minutos.

Los datos aqui mencionados son graficados para obtener -- una curva de asentamiento; como la que se representa en la Fig. -- No. 1 en esta curva se observa la altura de la interfaz,, entre el -- liquido limpio y la suspensión de sólidos (H) como una función del tiempo ( t ).

El valor de la velocidad de sedimentación  $\underline{V}$ , es la pendiente de la tangente de la curva de asentamiento .

Utilizando para el tiempo de sedimentación "t" valores -- elegidos arbitrariamente, se sitúan las tangentes a la curva de sedimentación, y se determinan los valores de la inclinación, y orde -- nadas en el origen, utilizando estos valores en la ec. No. 9

Los valores tabulados en la tabla No. 9 fueron obtenidos al derivar la ecuación, de la gráfica de altura de interfaz en función del tiempo de sedimentación .

H = Altura de interfaz entre la superficie del liquido claro y la suspensión de sólidos en centímetros .

t = Tiempo de sedimentación en minutos

H<sub>1</sub> = Altura de interfaz que representa la intersección de -- la linea tangente a la curva en centímetros .

V = Velocidad de sedimentación (pendiente de la curva -- de sedimentación) en centímetros/ minuto

C<sub>L</sub> = Concentración límite entre la separación de la interfaz .

t<sub>L</sub> = Tiempo de sedimentación para la concentración C<sub>1</sub>

H<sub>L</sub> = Altura de interfaz correspondiente a t<sub>L</sub>

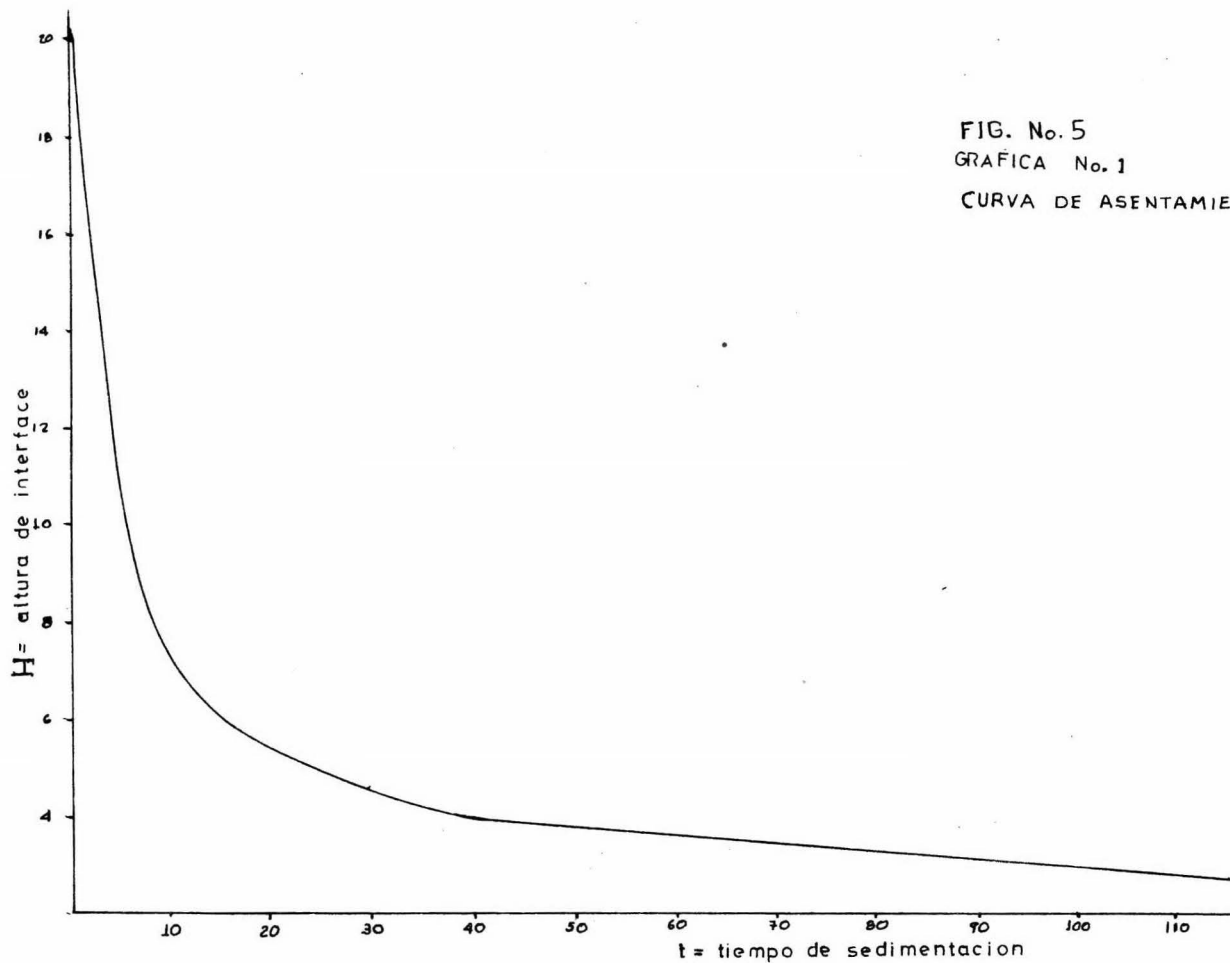


FIG. No. 5  
GRAFICA No. 1  
CURVA DE ASENTAMIENTO



TABLA No. 9

H	t	t <sub>L</sub>	H <sub>i</sub>	H <sub>L</sub>	V	C <sub>L</sub>
20.50	0.00	6.00	17.00	10.00	1.166	1.447
17.50	2.00	7.50	14.00	9.00	0.666	1.757
16.30	3.00	10.00	12.00	7.70	0.430	2.050
10.00	6.00	15.00	9.70	6.30	0.226	2.536
7.00	12.00	25.00	7.10	4.80	0.092	3.464
5.00	24.00	35.00	5.80	4.20	0.045	4.241
4.00	40.00	50.00	4.70	3.90	0.016	5.234
2.80	120.00	70.00	4.20	3.70	0.007	5.857
		120.00	3.60	3.20	0.003	6.833

DETERMINACION DEL AREA . Para determinar el área - mínima de sección transversal para este tipo de tanques continuos - sedimentadores es necesario seguir, el orden propuesto por: ( 12 ).

- a).- Encontrar la concentración en que la masa-velocidad de asentamiento de los sólidos es un mínimo .
- b).- Determinar la velocidad de sedimentación a esta concentración .
- c).- Evaluar el volumen de agua rechazada de la masa de lodos entre esta concentración .

El primer punto está consumado por manipulaciones matemáticas de velocidades de sedimentación, y por interpretaciones propias de las pendientes de las curvas de asentamiento .

El segundo punto es consumado por la reinterpretación de los datos en una curva de concentración contra velocidad de sedimentación .

El tercer punto está basado sobre las evaluaciones sucesivas de las velocidades ascendentes del fluido a varias concentraciones.

De donde se concluye que el área requerida está sujeta a la concentración de capa requerida de sólidos.

Necesitando la máxima área para pasar una cantidad unitaria de sólidos.

El balance de materiales según las condiciones de operación del tanque floculador, se representa en el siguiente diagrama.

Diagrama del balance de materiales del clarifloculador.

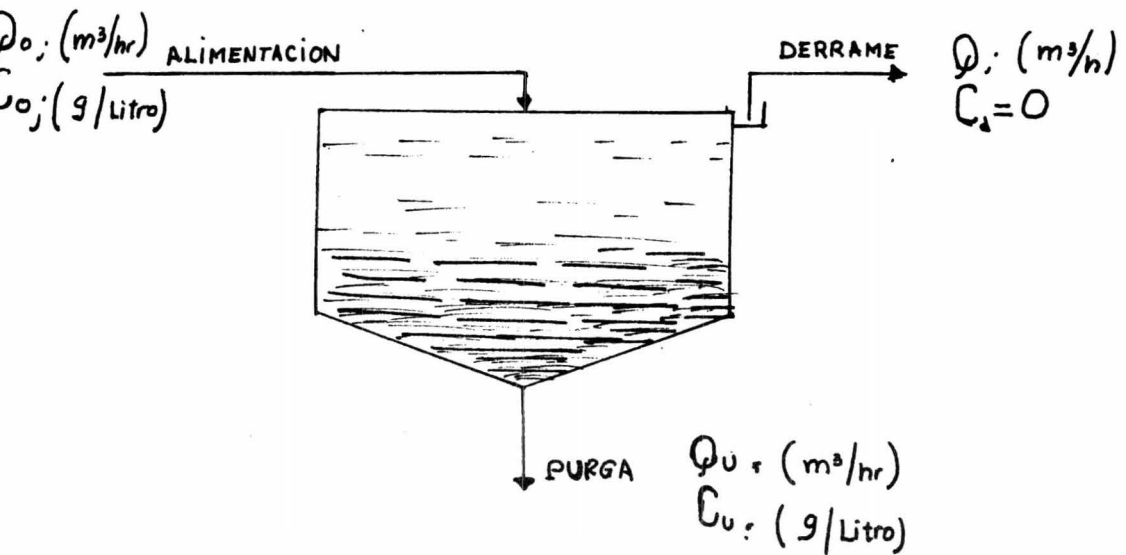


FIG. No. 6

$Q$  = Volumen agua clara del derrame

$C_d$  = Concentración en el derrame

$Q_o$  = Flujo de alimentación agua blanca

$C_o$  = Concentración inicial

$Q_u$  = Flujo de lodos extraídos por el fondo

$C_u$  = Concentración de lodos en la purga.

Balance de materiales para sólidos:

$$Q = Q_o - Q_u \quad \dots 12$$

$$Q_o C_o = Q_u C_u \quad \dots 13$$

Balance Total:

$$Q_o (P_o - C_o) = Q P_w + Q_u (P_u - C_u) \dots\dots\dots 19$$

Sustituyendo 13 en 19 tenemos:

$$Q_o (P_o - C_o) = Q P_w + Q_o \frac{C_o}{C_u} (P_u - C_u) \dots\dots 20$$

Simplificando y reareglando la ec. 20 tenemos:

$$Q P_w = Q_o C_o \left( \frac{P_o}{C_o} - 1 \right) - \left( \frac{P_u}{C_u} - 1 \right) \dots\dots 20 a$$

$$Q = Q_o C_o \left( \frac{P_o}{C_o} - \frac{P_u}{C_u} \right) \frac{1}{P_w} \dots\dots\dots 21$$

Dividiendo ambos miembros por el area seccional y usando una densidad promedio, tenemos:

$$\frac{Q}{A} = \frac{Q_o C_o}{A} \left( \frac{1}{C_o} - \frac{1}{C_u} \right) \frac{\bar{P}}{P_w} \dots\dots\dots 22$$

A = Area de la sección transversal

$P_o$  = Densidad inicial en la alimentación

$P_u$  = Densidad de los lodos

$P_w$  = Densidad del agua clara

$\bar{P}$  = Densidad promedio

$\frac{Q}{A}$  = Velocidad ascendente del líquido en la zona de clarificación.

$$\frac{Q}{A} = U \dots\dots\dots 23$$

La ecuación No. 13 puede ser escrita en terminos de la capacidad límite.

$$Q_o C_o = Q_L C_L \dots \frac{Q_L C_L}{A} = \frac{U}{\left( \frac{1}{C_L} - \frac{1}{C_u} \right) \frac{\bar{P}}{P_w}} \dots\dots 24$$

Utilizando la curva No. 2 de velocidad de sedimentación contra la concentración para obtener los valores correspondientes de  $(U)$  y  $(C_L)$ , Sustituyendo estos valores en la ec. No. 24 pueden calcularse varios valores de  $\frac{Q_L C_L}{A}$ . Estos valores se encuentran tabulados en la tabla No. 10 el valor más bajo determina el area requerida.

TABLA No. 10

U	$C_L$	$1/C_L$	$(1/C_L - 1/C_U)$	$\frac{(Q_L C_L)}{A}$
1.00	1.60	0.625	0.387	2.58
0.80	1.80	0.555	0.317	2.54
0.60	1.90	0.526	0.288	2.08
0.40	2.30	0.434	0.196	1.53
0.20	2.75	0.363	0.125	1.66
0.10	3.50	0.285	0.047	2.06
0.05	4.20	0.238	0.000	----

Datos:

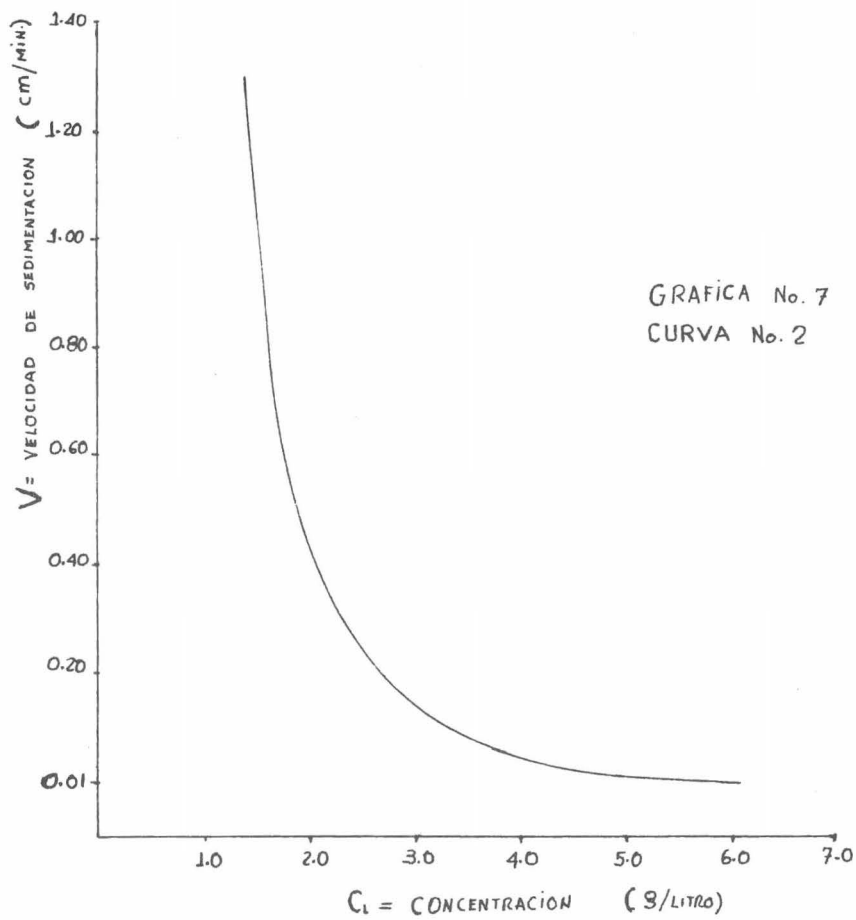
$$Q_o = 158 \text{ m}^3/\text{hr.}$$

$$C_o = 1.20 \text{ g/ litro}$$

$$\rho_w = 0.9982 \text{ G/litro}$$

$$\bar{\rho} = 0.9958 \text{ G/litro}$$

Con los datos de la tabla No. 10 se construyó la curva -- No. 3 graficando las velocidades ascendente del liquido clarificado  $(U)$ , contra  $\frac{(Q_L C_L)}{A}$  para determinar el area minima requerida. Según la curva antes mencionada como valor minimo el de:



$$(Q_I C_I / A) = 1.53 \frac{\text{cm}}{\text{min}} = 0.918 \frac{\text{m/hr}}{\text{m}^3/\text{kg}}$$

Sustituyendo este valor en la ec, No. 24 y despejando el area obtendremos:

$$Q_O C_O = Q_L C_L = (158) (1.20) = 189.6$$

$$A = \frac{189.6}{0.918} = 206.0 \text{ m}^2$$

Si el area de una circunferencia es igual a:

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

Despejando el diametro obtendremos:

$$D = 16.3 \text{ m}$$

Según las firmas especializadas en este tipo de equipo, — ya tienen estandarizados diferentes tamaños de tanques sedimentadores, en función del diametro; que van de 3 a 60 m. y su altura de 2.33 a 4.66 m. ( 7.0 a 14.0 pies) según ( 13 ).

El tiempo de residencia o también llamado tiempo de retención de este tipo de tanques sedimentados, es de bastante importancia en el diseño de éstos.

El tiempo de retención es obtenido a partir de los datos, — de las pruebas de laboratorio, de velocidad de sedimentación.

El tiempo de retención, es el tiempo necesario para que — los sólidos suspendidos, pasen de una concentración inicial a una —

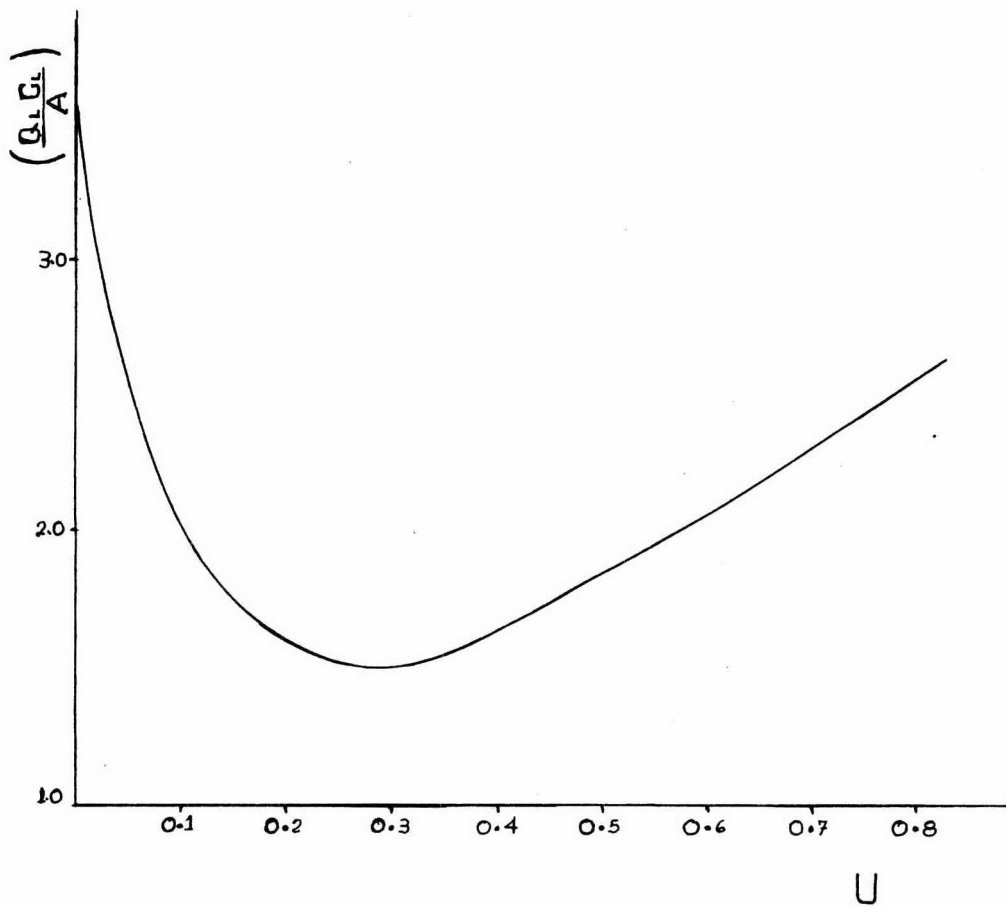


FIG. No. 8

CURVA No. 3



a una concentración determinada para ser descargados por la purga.

La forma de esta curva de compresión, indica una disminución gradual de la velocidad de sedimentación, y se representa por la ec. No. 25 Según ROBERTS. ( 12 )

$$- \frac{dH}{dt} = K ( H - H_{\infty} ) \dots\dots 25$$

H = Altura de la zona de compresión a un tiempo t.

$H_{\infty}$  = Altura de la zona de compresión a  $t = \infty$

K = Constante para el sistema

t = Tiempo de sedimentación

Integrando la ecuación anterior, entre los límites:  $H_0$  y H y también entre  $t = 0$  y  $t = t$ , se obtiene la siguiente ecuación:

$$\int_{H_0}^H \frac{dH}{(H - H_{\infty})} = \ln ( H - H_{\infty} ) \Big|_{H_0}^H - K t \dots\dots 26$$

$$\ln ( H - H_{\infty} ) = - K t + \ln ( H_0 - H_{\infty} ) \dots\dots 27$$

La ecuación anterior representa una curva de sedimentación, y fué propuesta por "ROBERTS" ( 12 )

De los datos de las pruebas de laboratorio, tabulados en la tabla No. 9 se obtiene la tabla No. 11 estos datos sirven para construir la ecuación No. 28

$$\ln \frac{( H - H_{\infty} )}{( H_0 - H_{\infty} )} = - K t \dots\dots\dots 28$$

TABLA No. 11

H	t	(H - H <sub>∞</sub> )	$\frac{(H - H_{\infty})}{(H_0 - H_{\infty})}$
20.50	0.00	18.70	1.000
17.50	2.00	15.70	0.839
16.30	3.00	14.50	0.775
10.00	6.00	8.20	0.438
7.00	12.00	5.20	0.278
5.00	24.00	3.20	0.171
4.00	40.00	2.20	0.118
2.80	120.00	1.00	0.053
	000.00	0.00	0.000

El valor supuesto de  $H = 1.80$

Como se observa en la curva de sedimentación obtenida - con los valores de la tabla No. 11 y graficados en papel semilogarítmico.

Al analizar esta curva se observa que la primera parte, -- las partículas están en período de caída libre, para un mismo tiempo, pero a medida que aumenta el tiempo de sedimentación; la velocidad de sedimentación disminuye. Por que las partículas en su -- cauda comienzan a estorbarse entre sí. Este punto es representado por una inflexión que sufre la curva. Este punto se denomina zona crítica, y es alcanzado por las partículas en un tiempo crítico ( $t_c$ ). Que se localiza a una altura de la interfaz llamada también zona -- crítica.

ROBERTS. ( 12 ) Sugiere un método para estimar el tiempo crítico:

La curva de compresión "b" de la fig. No. 9 es extrapolada hasta un tiempo  $t = 0$ . De acuerdo con la ec No. 28 el tiempo crítico es obtenido por promedio aritmetico entre  $H_0$  y  $H'_0$  de esta manera se obtiene el tiempo de retención que es la diferencia entre el tiempo necesario para alcanzar una determinada concentración de lodos en la purga y el tiempo crítico.

$$t_r = (t - t_c) \dots\dots\dots 29$$

El tiempo necesario para que los sólidos sean desalojados por la purga a una determinada concentración, que en este caso particular es de:  $C_U = 4.20$  g/litro es de 120.0 minutos, el tiempo crítico estimado es de aproximadamente 4.0 minutos la diferencia entre estos dos valores, da como resultado el tiempo de retención del clarifloculador, igual a:

$$t_r = (120.0 - 4.0) = 116.0 \text{ minutos.}$$

Tomaremos como dato de diseño, el tiempo de retención igual a dos horas.

$$t_r = 120.0 \text{ minutos} = 2.0 \text{ hr.}$$

De acuerdo con los datos antes calculados del area y del tiempo de retención; podemos calcular la altura del tanque.

$$V = Q \times t_r \dots\dots\dots 29$$

$V =$  Volumen del tanque en  $m^3$

$Q =$  Gasto de agua alimentada en  $m^3/hr.$

$t_r =$  Tiempo de retención en hrs.

$$V = (158) (2.0) = 316.0 m^3$$

$$V = A.h \dots\dots\dots 30$$

$A =$  Area seccional del clarifloculador en  $m^2.$

$h =$  Altura del tanque en m.

$$h = \frac{V}{A} = \frac{316.0}{206.0} = 1.54 \text{ m.}$$

A esta altura se le sumara los siguientes valores según (16)

1 a 2 pies por la inclinación del fondo

1 a 2 pies por capacidad de almacenamiento

De donde tendremos una altura total de:

Tomando como promedio dos pies por cada uno de los factores antes mencionados.

$$h = 2.76 \text{ m.}$$

La cantidad de agua clara obtenida por el derrame será — de acuerdo con la ec. No. 21

$$Q = 158 \times 1.20 \left( \frac{0.992}{1.20} - \frac{0.968}{4.20} \right) \frac{1}{0.998} = 113.1 \text{ m}^3/\text{h}$$

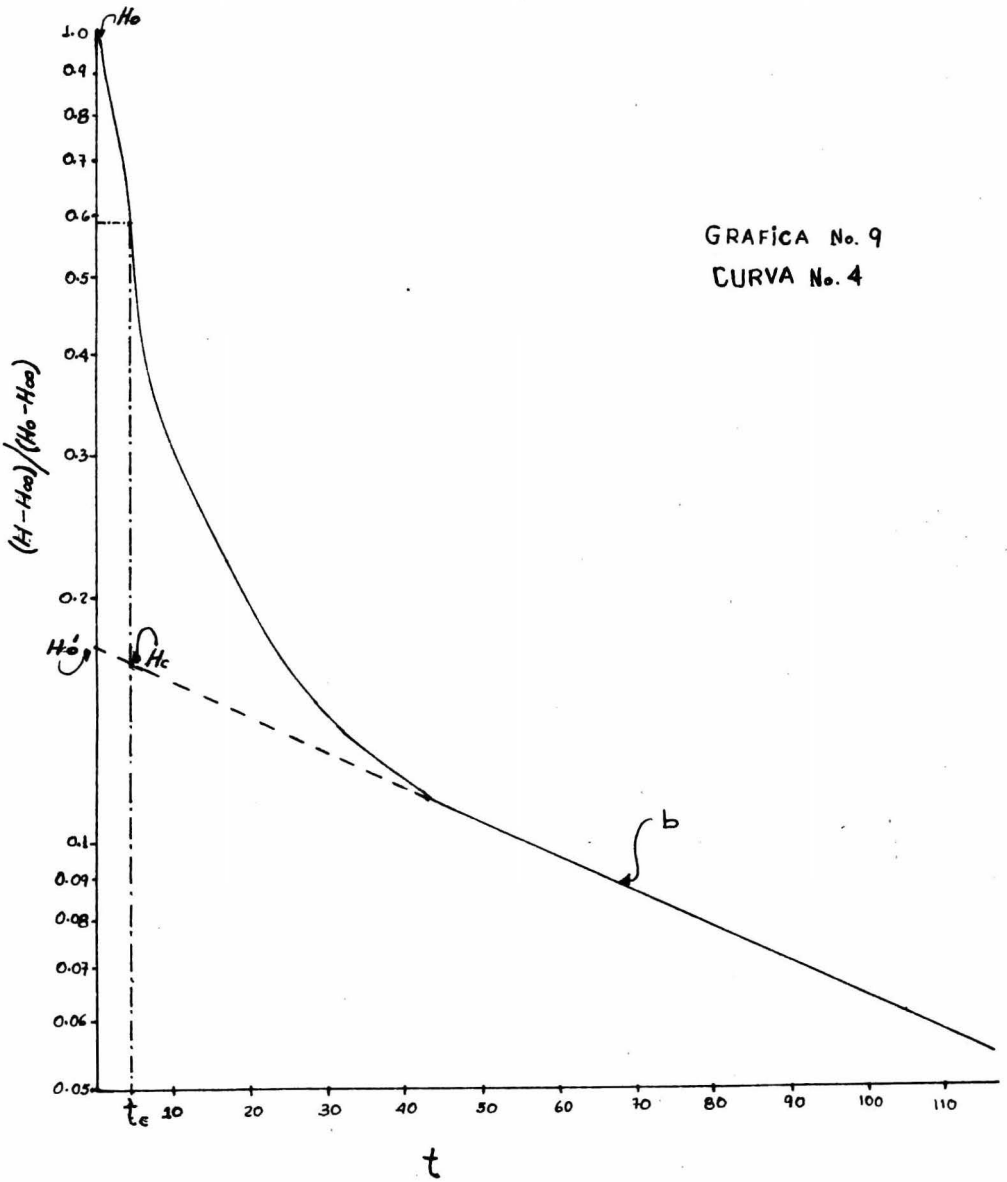
La cantidad de lodos desalojados por la purga será:

$$Q_u = 158 - 113.1 = 44.9 \text{ m}^3/$$

Tanque de alimentación al clarifloculador.

Su principal objetivo es mantener un flujo constante al clarifloculador.

Al igual que el equipo antes mencionado; existe una gran variedad de diseños, en este tipo de tanques; pudiendo ser circulares, rectangulares, etc. según las condiciones y necesidades en cada caso en particular.



La capacidad de estos tanques, esta en función directa -- del flujo de agua blanca y de la capacidad del clarifloculador.

Los tanques rectangulares de este tipo se diseñan, con un mínimo de profundidad de 1.5 m. a 2.3 m., manteniendo ciertas - relaciones, entre sus dimensiones. ( 13 )

$$\frac{L}{W} \quad 4.27 \quad \dots\dots\dots 30$$

L = Longitud

W = Ancho

Para calcular el volumen del tanque tomaremos como base el gasto de agua blanca y el tiempo de retención del clarifloculador.

$$t_r = \frac{V}{Q} \quad \dots\dots\dots 31$$

$t_r$  = tiempo de retención

V = Volumen del tanque

Q = Gasto.

tomando como  $t_r = 2.0$  hr.      y  $Q = 158.0 \text{ m}^3/\text{hr.}$

$$V = 2.0 \times 158 = 316.0 \text{ m}^3$$

Suponiendo una altura  $h = 2.0$  m.

$$V = W \times h \times L$$



**QUÍMICA**

Sustituyendo el valor de la altura:

$$V = 2.0 \times W \times L$$

Sustituyendo el valor de  $L = 4.27 \times W$  de la ec. No.

$$V = 2.0 \times 4.27W^2 = 8.54 W^2$$

$$\text{Despejando } W = \sqrt{V/8.54} = \sqrt{316/8.54} = 6.1 \text{ m}$$

$$L = 4.27 \times 6.1 = \underline{\underline{26.0 \text{ m.}}}$$

### 3.- EQUIPO DE BOMBEO

- a).- Traslado
- b).- Alimentación al clarifloculador.
- c).- Descarga del clarifloculador
- d).- Lodos
- e).- Dosificadoras.

Una bomba debe ser seleccionada de acuerdo con el gasto que manejará y las condiciones de trabajo, como son la carga, revoluciones por minuto, tipo de impulsor, etc.

En caso de bombas centrifugas, que son las que se utilizan en su totalidad en el sistema; con excepción de la bomba de lodos y dosificadoras. Se hace uso de las curvas características de las bombas que tienen los fabricantes de este tipo de equipo para su mejor selección.

Pero es necesario tener una idea de la potencia al freno - (Brake Horse Power) que necesita la bomba para su correcta selección. Esto se calcula a partir del teorema de "BERNOULLI".

### Bomba de traslado.

Las bombas de traslado, son las utilizadas para trasladar - el agua blanca de cada departamento, al tanque que alimenta al clarifloculador. Su cálculo esta en función; de la altura a que se bombeará el fluido, de las pérdidas por fricción en la tubería y accesorios, y la distancia por vencer.

### Bomba de agua blanca pasta mecánica.

Para bombear el agua blanca del departamento de pasta - mecánica, se utiliza una bomba centrífuga; para su cálculo se tienen los siguientes datos:

El flujo es de  $2700 \text{ m}^3/\text{D}$ ; la altura a la que se elevara el fluido es de aproximadamente 15 m. y la distancia a la que se transportara es de 60 m. aprox.

Simbolos	Datos	Datos sist. Ingles
Q = Flujo de agua	2700 $\text{m}^3/\text{D}$	500 GPM.
$\rho$ = Densidad a 70°F.		62.27 lb/ pie cubico
$\mu$ = Viscosidad a 70°F.		0.95 centipoises
$Z_1$ = Altura en el punto inicial.	0 m.	0 pies
$Z_2$ = Altura en el punto final	15 m.	49.4
D = Diámetro del tubo ced. # 40.		5 pulgadas nominales.

### 1.- Teorema de Bernoulli.

$$Z_1 + \frac{144 P_1}{\rho_1} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{144 P_2}{\rho_2} + \frac{V_2^2}{2g} + h_L$$



2.- Dado que  $P_1 = P_2$  y  $V_1 = V_2$  la ecuación anterior se reduce a la siguiente forma:

$$\frac{144}{\rho} (P_1 - P_2) = (Z_2 - Z_1) + h_L$$

3.-  $h_L = 0.1863 \frac{fL v^2}{d}$  (perdida de energía debida a fricción en pies de líquido)

$Re = 123.9 \frac{d v \rho}{\mu}$  (Número de Reynolds)

$v = \frac{0.408Q}{d^2}$  (velocidad media del fluido en pies/seg.)

$L = (L/D) D$  (longitud del tubo en pies)

$BHP = \frac{Q H \rho}{247000 g_p}$  (potencia al freno en ho.)

4.-  $d = 5.047$  (diámetro interno del tubo en pulg.)

$D = 0.4206$  (diámetro interno del tubo en pies)

$d^2 = 25.47$

5.-  $v = \frac{0.408 \times 500}{25.47} = 8.02$  pies/seg.

6.-  $\rho = 62.27$  lb/ pie cubico. (densidad a 70°F.)

7.-  $\mu = 0.95$  cps. (viscosidad a 70°F.)

8.-  $Re = \frac{123.9 \times 5.047 \times 8.02 \times 62.27}{0.95} = 3.28 \times 10^5$

9.-  $f = 0.017$  (coeficiente de fricción)

10.-  $L/D$  (longitud equivalente del tubo en pies)

$$L/D = 30 \times 8 = 240 \text{ (para ocho codos estandar de } -90^\circ)$$

$$L/D = 13 \times 1 = 13 \text{ (para valvula de compuerta)}$$

$$L = (L/D) = 253 \times 0.4206 = 108 \text{ pies.}$$

11.-  $L =$  longitud total del tubo

$$L_T = 197 + 49.4 + 108 = 354.4 \text{ pies.}$$

12.- Las perdidas de energia por fricción en el tubo y accesorios.

$$h_L = 0.1863 \frac{0.017 \times 354.4 \times (8.02)^2}{5.047} = 14.6 \text{ pies}$$

13.- La cabeza total de la bomba es:

$$H = (49.4 - 0) + 14.6 = 64 \text{ pies}$$

14.- La potencia al freno, considerando una eficiencia del motor bomba es del 60%

$$\text{BHP} = \frac{500 \times 64 \times 62.27}{247000 \times 0.60} = 13.5 \text{ hp.}$$

Bomba agua blanca maquinas de papel.

El agua blanca sobrante de fabricación y regaderas es bombeada al tanque de alimentación del clarifloculador por medio de —

bombas centrífugas, la altura a la que se elevara el fluido no es -- mayor de 20 m. y la distancia que recorrerá el fluido es de 100 m. el flujo aproximado es de 2170 m<sup>3</sup>/día

Datos	Datos sistema Ingles
Q = 2170 m <sup>3</sup> /Día	400 GPM.
Z <sub>1</sub> = 0 m.	0 pies
Z <sub>2</sub> = 20 m.	66 pies
D = 5 pulg. nominales ced. # 40	

1.- Teorema de Bernoulli:

$$Z_1 + \frac{144 P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{144 P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2g} + h_L$$

2.- Dado que  $P_1 = P_2$  y  $V_1 = V_2$ ; la ecuación anterior se reduce a la siguiente forma:

$$\frac{144}{\rho} (P_1 - P_2) = (Z_2 - Z_1) + h_L$$

3.-  $h_L = 0.1863 \frac{f L V^2}{d}$  (perdidas de energía debido a la fricción, en pies de líquido).

Re =  $123.9 \frac{d V \rho}{\mu}$  (Número de Reynolds)

$V = \frac{0.408 Q}{d^2}$  (velocidad media del fluido en pies/seg.)

$$L = (L/D)D \quad (\text{longitud equivalente en pies})$$

$$\text{BHP} = \frac{QH}{247000e_p} \quad (\text{potencia al freno en hp}).$$

$$4.- d = 5.047 \quad (\text{diametro interno del tubo en pulg})$$

$$d^2 = 25.47$$

$$D = 0.4206 \quad (\text{diametro interno del tubo en pies})$$

$$5.- v = \frac{0.408 \times 400}{25.47} = 6.44$$

$$6.- \rho = 62.27 \text{ lb/pie cub.} \quad (\text{densidad a } 70^\circ\text{F.})$$

$$7.- \mu = 0.95 \text{ cps.} \quad (\text{viscosidad a } 70^\circ\text{F.})$$

$$8.- \text{Re} = \frac{123.9 \times 5.047 \times 6.44 \times 62.27}{0.95} = 2.65 \times 10^5$$

$$9.- f = 0.018 \quad (\text{coeficiente de fricción, sin dimensiones})$$

10.- Longitud equivalente en pies.

$$L/D = 30 \times 8 = 240 \quad (\text{para codo estandar de } 90^\circ)$$

$$L/D = 13 \times 1 = 13 \quad (\text{para valvula de compuerta})$$

$$L/D = 240 + 13 = 253$$

$$L = (L/D)D = 253 \times 0.4206 = 106$$

11.- La longitud equivalente total del tubo es:

$$L_T = 330 + 66 + 106 = 502$$

12.- Las pérdidas por fricción en la tubería y accesorios en pies es:

$$h_L = \frac{0.1863 \times 0.018 \times 502 \times (6.44)^2}{5.047} = 14$$

13.- La cabeza total de la bomba es

$$H = (66 - 0) + 14 = 80 \text{ pies}$$

14.- La potencia al freno es: Considerando una eficiencia del Motor bomba de 60%

$$\text{BHP} = \frac{400 \times 80 \times 62.27}{24700 \times 0.60} = 13.5$$

Bomba agua alimentación al clarifloculador.

El flujo de alimentación se estima como 3840 m<sup>3</sup>/día la altura que vencerá el fluido es de aproximadamente 3 m. y la distancia entre los dos puntos es de aproximadamente 5.0 m.

Datos

Datos sistema Ingles.

$$Q = 3840 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$800 \text{ GPM.}$$

$$Z_1 = 0 \text{ m.}$$

$$0 \text{ pies}$$

$$Z_2 = 3 \text{ m.}$$

$$10 \text{ pies}$$

$$D = 6 \text{ pulg. nominales ced. \# 40}$$

1.- Teorema de Bernoulli:

$$Z_1 + \frac{144 P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{144 P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2g} + h_L$$

2.- Dado que  $\rho_1 = \rho_2$  y  $V_1 = V_2$  la ecuación anterior se reduce a la siguiente forma:

$$\frac{144}{\rho} (P_1 - P_2) = (Z_2 - Z_1) + h_L$$

3.-  $h_L = \frac{0.1863 f L v^2}{d}$  (perdidas de energía debido a la fricción, en pies)

$$Re = 123.9 \frac{dv \rho}{\mu} \quad (\text{número de Reynolds})$$

$$v = 0.408 \frac{Q}{d^2} \quad (\text{velocidad media del fluido en pies por seg.})$$

$$L = (L/D)D \quad (\text{longitud equivalente en pies})$$

$$BHP = \frac{QH \rho}{24700 e_p} \quad (\text{potencia al freno en hp.})$$

$$e_p = 60\%$$

4.-  $d = 6.065$  (diámetro interno del tubo en - pulg.)

$$d^2 = 36.78$$

$D = 0.5054$  (diámetro interno del tubo en - pies)

$$5.- v = \frac{0.408 \times 800}{36.78} = 8.87$$

6.-  $\rho = 63.27 \text{ lb/ pie cub.}$  (densidad a 70°F.)

7.-  $\mu = 0.95 \text{ cps.}$  (viscosidad a 70°F.)

$$8.- Re = \frac{123.9 \times 6.065 \times 8.87 \times 62.27}{0.95} = 4.3 \times 10^5$$

$$9.- f = 0.022 \quad (\text{coeficiente de fricción, sin dimensiones})$$

10.- Longitud equivalente en pies .

$$L/D = 30 \times 4 = 120 \quad (\text{para codo estandar de } 90^\circ)$$

$$L/D = 260 \times 2 = 520 \quad (\text{para valvula de compuerta})$$

$$L/D = 120 + 520 = 680$$

$$11.- L = (L/D)D = 680 \times 0.5054 = 345$$

12.- La longitud equivalente total es:

$$L_T = 10 + 16.5 + 345 = 371.5$$

$$13.- = \frac{0.1863 \times 0.022 \times 371.5 \times (8.87)^2}{6.065} = 19.8$$

14.- La cabeza total de la bomba es:

$$H = (10 - 0) + 19.8 = 29.8$$

15.- La potencia al freno es:

$$BHP = \frac{800 \times 29.8 \times 62.27}{24700 \times 0.60} = 12.0$$

Bomba agua clara descarga del clarifloculador .

La cantidad de agua clara que manejara esta bomba es de  $3800 \text{ m}^3/\text{D}$ . La altura a la que se elevara el fluido es de aproximadamente 15 m. y se transportara a una distancia de aproximadamente 100 m.

Datos

Datos sistema Ingles .

$$Q = 3800 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$800 \text{ GPM.}$$

$$Z_1 = 0 \text{ m.}$$

$$0 \text{ pies}$$

$$Z_2 = 15 \text{ m.}$$

$$49.4 \text{ pies}$$

$$D = 6 \text{ pulg. nominales ced. } \# 40$$

Teorema de Bernoulli:

$$Z_1 + 144 \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + 144 \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2g} + h_L$$

2.- Dado que  $P_1 = P_2$  y  $V_1 = V_2$  la ecuación anterior — se reduce a la siguiente forma:

$$\frac{144}{\rho} (P_1 - P_2) = (Z_2 - Z_1) + h_L$$

3.-  $h_L = \frac{0.1863 \times f L V^2}{d}$  (perdidas de energía debido a la fricción en pies de líquido)

$$Re = 123.9 \frac{d V \rho}{\mu}$$
 (número de Reynolds.)

$$V = 0.408 \frac{Q}{d^2}$$
 (velocidad media del fluido en pies por segundo)

$$L = (L/D)D$$
 (longitud equivalente en pies)

$$BHP = \frac{QH \rho}{24700 e_p}$$
 (potencia al freno en hp.)

$$e_p = 60\%$$
 (eficiencia del Motor bomba)

4.-  $d = 6.065$  (diámetro interno del tubo en pulg.)



$$d^2 = 36.78$$

$$D = 0.5054 \quad (\text{diametro interno del tubo en - pies})$$

$$5.- v = \frac{0.408 \times 800}{36.78} = 8.93$$

$$6.- \rho = 62.27 \text{ lb/pie cub. (densidad a } 70^\circ\text{F.)}$$

$$7.- \mu = 0.95 \text{ cps. (viscosidad a } 70^\circ\text{F.)}$$

$$8.- Re = \frac{123.9 \times 6.065 \times 8.93 \times 62.27}{6.065} = 4.33 \times 10^5$$

$$9.- f = 0.0165 \quad (\text{coeficiente de fricción, sin - dimensiones})$$

$$10.- L/D = 30 \times 10 = 300 \quad (\text{para codo estandar de } 90^\circ)$$

$$L/D = 1100 \quad (\text{para valvula chek de 4 pulg. de diame- tro})$$

$$L/D = 300 + 1100 = 1400$$

$$11.- L = 1400 \times 0.5054 = 710$$

12.- La longitud equivalente total es:

$$L_T = 330 + 50 + 710 = 1090$$

$$13.- h_L = \frac{0.1863 \times 0.0165 \times 1090 \times (8.93)^2}{6.065} = 44.0$$

14.- La cabeza total de la bomba es:

$$H = (50 - 0) + 44 = 94.0$$

15.- La potencia al freno es:

$$\text{BHP} = \frac{800 \times 94 \times 62.27}{24700 \times 0.60} = 31.5$$

Bomba lodos clarifloculador.

Esta bomba es de emobolo, del tipo de desplazamiento positivo, y puede bombear mezclas de lodos, gases, así como líquidos. Esta bomba viene incluida en el equipo del clarifloculador.

Bomba lodos de conos a espesadores.

Estas bombas son del tipo de bomba centrifuga y tiene capacidad de 200 gpm. y con una potencia al freno de 7.5 hp.

## 6.- EQUIPO DOSIFICADOR DE PRODUCTOS QUIMICOS

a).- Preparación y dosificación del polielectrolito. El equipo para preparar y dosificar el polielectrolito de poliacrilamida consiste principalmente de las siguientes partes:

- 1).- Tanque de disolución.
- 2).- Tanque de almacenamiento y dosificador.
- 3).- Dispensor tipo venturi
- 4).- Agitador
- 5).- Bomba dosificadora.

El coagulante altamente polimerizado es alimentado por la parte superior del dispensor, en donde se humedece con agua fresca a una temperatura mayor de 5°C.; para que pueda ponerse en solución en un mínimo de tiempo utilizando los tanques comunes para soluciones químicas.

El uso del dispensor es importante porque evita que se formen grumos grandes difíciles de disolver y que retardarían la disolución completa.

El agua entra a la presión de la tubería por la chaqueta - del dispersor através de una abertura de  $3/4$  de pulgada de diámetro y se esparce através de ranuras con ángulos de  $45^\circ$  dentro del cilindro interno del dispersor.

El coagulante seco se agrega al embudo del dispersor por la parte superior, y se humedece adecuadamente por los aspersores de gran impacto como se muestra en el diagrama No. 6

El coagulante húmedo pasa con el agua de solución al - tanque de disolución, en donde tiene un período de agitación, - por espacio de una a dos horas. Este período de agitación esta en función de la concentración que se desea en el tanque de disolución.

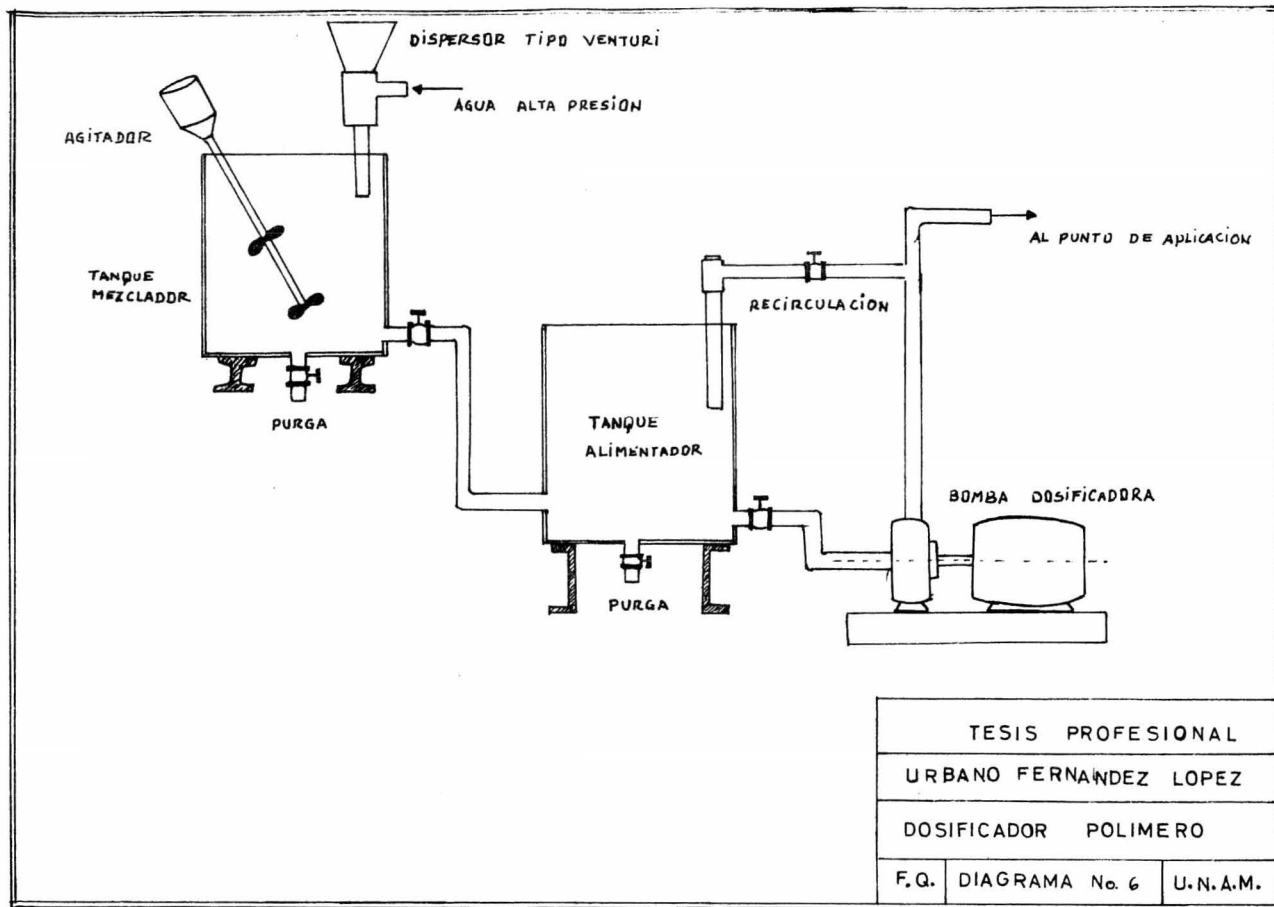
#### CALCULO DEL EQUIPO PARA PREPARACION Y DOSIFICACION.

Vólumen de agua blanca .....	3800 m <sup>3</sup> /día
Dosificación del polímero .....	0.7 g/m <sup>3</sup>
Solución inicial .....	2.0 % en peso
Concentración agua blanca .....	1.20 g/litro

De acuerdo con los datos anteriores de diseño y los datos presentados en el capítulo de análisis de aguas, se puede calcular el equipo para desarrollar esta función determinada.

La dosis óptima determinada por las diferentes pruebas de - tipo "JARRA" efectuadas en el laboratorio dio como resultado una - dosificación de 0.7 ppm.

La cantidad de polielectrolito usado para el tratamiento de este tipo de agua blanca, esta en función del vólumen de agua por tratar.



Volumen de agua blanca.....3800 m<sup>3</sup>/Día

Dosificación.....0.7 g/m<sup>3</sup>

Cantidad de producto usado = Volumen de agua blanca --  
por la cantidad de producto dosificado .

$$\begin{aligned} \text{Cantidad de producto usado} &= 3800 \text{ m}^3/\text{Día} \times 0.7 \text{ g/m}^3 = \\ &2660 \text{ g/día} \qquad 2.660 \text{ kg./día.} \end{aligned}$$

El equipo para preparación y dosificación del polimero de acrilamida, esta calculado, para preparar una solución para 48 horas .

El material usado para su construcción se recomienda que sea de acero inoxidable # 304, para prevenir corrosión en el equipo .

En el diagrama No . 6 se muestra la forma y distribución de los tanques para disolver y almacenar el producto de acrilamida en solución al 20% en peso .

1).- Tanque mezclador ó disolución.

$$V = 950 \text{ L.}$$

$$D = 1.10 \text{ m.}$$

$$h = 1.0 \text{ m.}$$

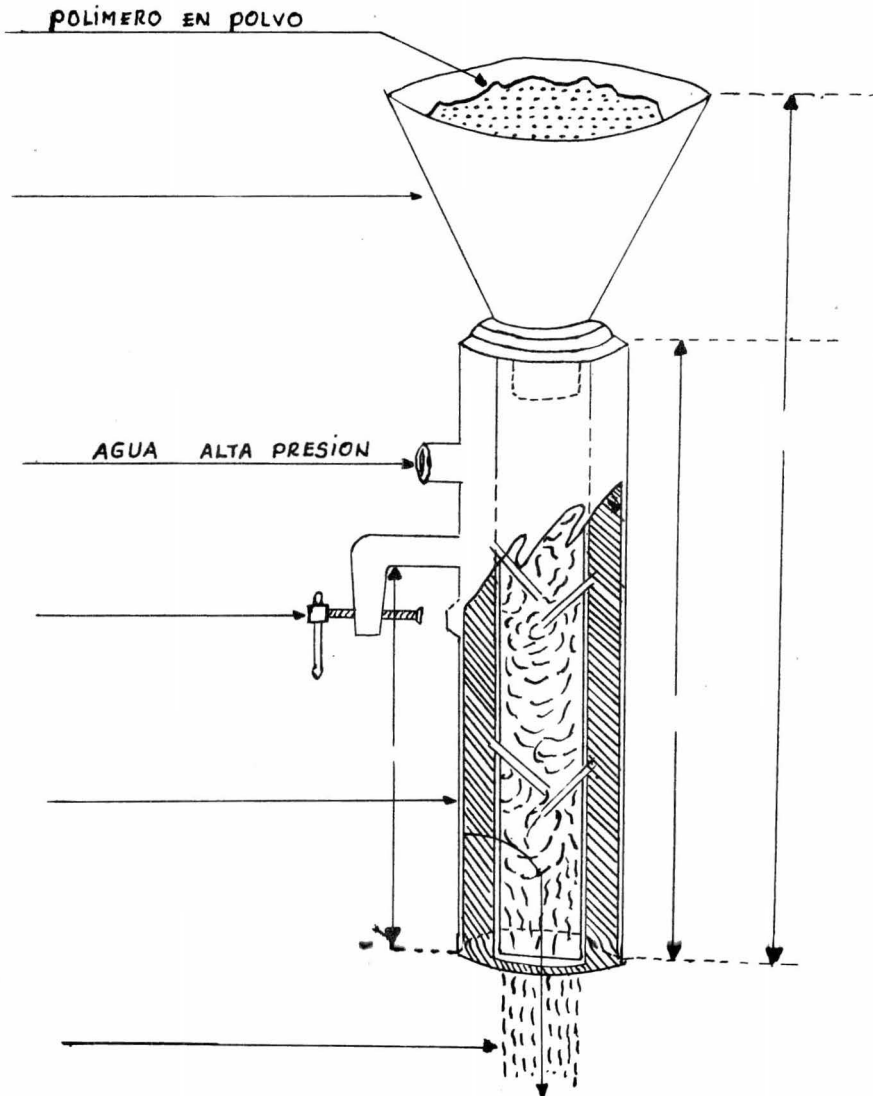
2).- Tanque de almacenamiento y dosificador.

$$V = 2500 \text{ L.}$$

$$D = 1.30 \text{ m.}$$

$$h = 1.80 \text{ m.}$$

3).- Dispensor tipo venturi.



## 4).- Agitador.

Agitador de propelas ó paletas.

Velocidad de agitación de 400 RPM.

Tiempo de agitación de 3.0 a 4.0 hrs.

## 5).- Bomba dosificadora.

Bomba del tipo de diafragma.

## e).- Preparación y dosificación de la sílica activada.

El equipo adecuado para la preparación y dosificación de la sílica activada, es proporcionado por la firma comercial WALLACE & TIERNAN. Este equipo consiste de tres partes principales: La sección de control de clorurado como agente activador, el bombeo del silicato de sodio y la unidad de activación; donde tiene lugar la formación de la sílica activada.

## d).- Preparación y dosificación del sulfato de aluminio.

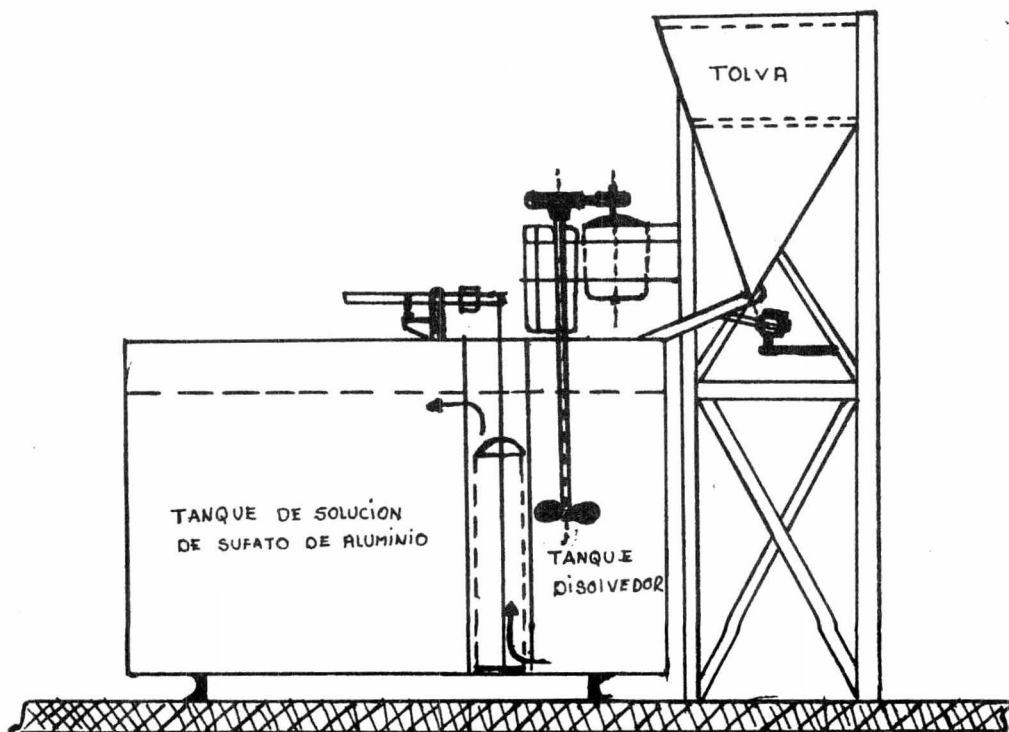


DIAGRAMA N 2 8

## EVALUACION ECONOMICA

Una evaluación económica, tiene por objeto seleccionar un cierto equipo, desde el punto de vista económico y una vez seleccionado. Determinar la inversión y el costo del equipo, materiales, mano de obra, de instalación y los imprevistos.

El costo de operación, esta basado en el consumo de energía eléctrica, productos químicos utilizados para el tratamiento, mano de obra. Además debe incluirse, el mantenimiento, la depreciación, impuestos, seguros, etc.

Con estos valores es posible determinar el costo del tratamiento y al ahorro anual ( )

Como primer paso de la evaluación económica, se efectúa una cotización, con los precios promedio del equipo que se encuentra en el mercado y de acuerdo con las especificaciones ya determinadas.

A continuación encontraremos una cotización preliminar, con los precios promedio de este equipo.

Como es natural, en una u otra parte de la evaluación, los costos pueden variar, con los de la cotización.

### 1.- EQUIPO Y MATERIALES:

	Precio Unitario	Total.
a) Clarifloculador.....	\$ 800.000.00	\$ 800.000.00
b) Tanque rectangular de concreto armado alimentador del clarifloculador.....	80.000.00	80.000.00
c).Tanque circular de concreto armado, recolector agua clara del clarifloculador.....	5,000.00	5,000.00



d) Tanques de acero, circulares recolectores de lodos.....	\$ 4.000.00	\$ 20.000.00
e) Tanques de concreto armado para almacenamiento de agua clara.....	100.000.00	200.000.00
f) Conos de acero, sedimentadores de lodos.....	150.000.00	450.000.00
g) Dosificador de polielectrolito - de acrilamida .....	15.000.00	450.000.00
h) Dosificador de sulfato de aluminio .....	25.000.00	25.000.00
i) Dosificador de sílice activada..	60.000.00	60.000.00
j) Cloradores.....	25.000.00	25.000.00
k) Medidor de flujo, tipo magnético con registrador.....	30.000.00	30.000.00
l) Indicador y registrador de pH...	30.000.00	30.000.00
m) Equipo de bombeo:		
Bomba centrífuga, con un gasto de 500 gpm. con motor de ----- 13.5 HP.....	40.000.00	80.000.00
Bomba centrífuga, con gasto de 400 gpm. con motor de 13.5 HP.	40.000.00	80.000.00
Bomba centrífuga, con gasto de 800 gpm., con motor de 12.0 HP	40.000.00	80.000.00
Bomba centrífuga, con gasto de 800 gpm., con motor de 30.0 HP	50.000.00	100.000.00
Bomba centrífuga, con gasto de 200 gpm., con motor de 7.5 HP.	20.000.00	60.000.00
n) Tubería de acero inoxidable ( 400 m ).....	473.00/ml	189.200.00
o) Válvulas y accesorios.....		30.000.00
p) Cimentación de equipo.....		40.000.00
		\$ 2,399.000.00

q) Instalación de quipo e imprevistos ( 15% de la inversión).....	\$ 359,880.00
Inversión total para tener la plan- ta instalada.....	2,959.080.00

## II.- DETERMINACION DE COSTOS DE OPERACION, CONSUMOS Y COSTOS DE SERVICIO.

### a).- Costos:

Corriente electrica.....	\$ 0.40 / KWH.
Sulfato de aluminio.....	1200.00/ Ton.
Silicato de sodio.....	668.00/Ton.
Polimero de Poli(acrilamida).....	48.00/Kg.
Gas cloro.....	1458.00/Ton.

### b).- Consumos:

Corriente electrica.....	100.0 KWH./día
Sulfato de aluminio.....	570.0 Kg./ día
Silicato de sodio.....	185.0 Kg./ día
Polimero de Poli(acrilamida).....	2.6 Kg./día
Gas cloro.....	38.0 Kg./día

### c).- Costos:

Corriente electrica.....	\$ 960.00/día
Sulfato de aluminio.....	684.00/día
Silicato de sodio.....	122.00/día
Polimero de Poli(acrilamida).....	125.00/día
Gas cloro.....	55.00/día
	<u>\$ 1946.00/día</u>

### d).- Mano de obra:

Salario de operadores.....	\$ 300.00/día
Costo total de operación.....	<u>2246.00/día</u>

## III.- COSTOS DE OPERACION.

## a).- Costos directos:

	\$/día	\$/ año
Corriente electrica.....	960.00	350,400.00
Sulfato de aluminio.....	684.00	249,660.00
Silicato de sodio.....	122.00	44,530.00
Polimero de Poliacrilamida.....	125.00	46,626.00
Gas cloro.....	55.00	20,075.00
Mano de Obra.....	300.00	109,500.00
Mantenimiento (1% de la inversión)		29,590.80
<b>Total costos directos ...</b>		<b>849.390.80</b>

## b).- Costos indirectos:

	\$/año
Amortización (10 años).....	295,908.00
Interes (6% inversión).....	177,544.80
<b>Total costos indirectos...</b>	<b>473,452.80</b>

**Costo total de operación..... 1,322.843.60**

## IV.- AHORRO ANUAL:

## a).- Costo unitario de agua tratata

$$\text{Costo unitario} = \frac{\text{costo total de operación}}{\text{consumo de agua anual}}$$

$$\text{costo unitario} = \frac{1,322,843.60}{1,383,180} = \$ 0.95/\text{m}^3$$

$$\text{costo del metro cubico de agua tratata} = \$ 0.95$$

b).- Costo del metro cubico de agua de pozo

metro cubico de agua de pozo = \$ 3.50 (cuota del D.D.F.)

$$\% \text{ de ahorro} = \frac{(350 - 95) 100}{350}$$

$$\% \text{ de ahorro}/\text{m}^3 = 75.42$$

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- C. P. Priesing., "A theory of coagulation used for desing" -  
Industrial And. Engineering Chemistry., vol. 54 No. 8., -  
pag. 38, 1962.
- 2.- Navarro Sagristá J., "los Fenómenos de floculación y dispersión en la fabricación de papel" Investigación y Técnica del Papel", Pag. 741, No. 29, 1971.
- 3.- Betz L. D. & H.W. "Betz Handbook of Industrial Water Conditioning", Philadelphia, 1952.
- 4.- Vázquez Dionisio, "Empleo de productos químicos en la fabricación de papel en México". A.T.C.P. (1968) vol. 8 No. 6, -  
pag. 461.
- 5.- Eskel Norden, "Water Treatment for industrial and other uses". Reinold Publishing Corporation. N.Y., 1951.
- 6.- Julius Grant., "Manual sobre la fabricación de pulpa y papel", Compañía editorial continental, S.A.
- 7.- Gordon M. Fair, J. C. Geyer. "Ingeniería Sanitaria y de -  
Aguas Residuales" Vol. II., Editorial Limusa Wiley, S.A.
- 8.- Bates R.G. "Determinación of pH" Wiley, N.Y. 1964.
- 9.- Richard A.C. and V. H. Edwards. "How to Desing Sedimentation Systems From Laboratory Data"., Chemical Eng. Sept. 18, 1961, pag. 167
- 10.- Dorr-Oliver Inc. Boletín No. 6801 - R.
- 11.- Kynch, G.J., Trans. Faraday soc., 48, 166, (1952).

- 12.- Roberts, E. J., Trans. Am. Inst. Mining. Met. Engrs., 184 61 (1949).
- 13.- Sewage Treatment. "Plant Desing", Prepared by a Joint Committee.
- 14.- Talamage W.L. and E.B. Fitch., Ind, Eng. Chem., 47, 38 (1955).
- 15.- Jhon H. Perry., "Chemical Engineers Handbook", Second, Edición, McGraw-Hill, Book Company.
- 16.- A.S. Foust, L.D. Wenzel. "Principles of Unit Operations" Edit., John Wiley and Sons. Inc.
- 17.- Linvil G. Rich. "Operaciones Unitarias de Ingeniería Sanitaria" ., Edit. Wiley, CECSA, 1963.
- 18.- Crane "Flow of Fluids Through, Valves, Fittings and Pipes" Technical Paper No. 410., Crane Co., Chicago Illinois --- 60632, (1965).