



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN



7
2ej

V N A M

RECUPERACION DE AGUAS DEL PROCESO
DE FABRICACION DE PAPEL PARA SU
REUTILIZACION

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERA QUIMICA

P R E S E N T A

LETICIA XOCHITL LEYVA MENDOZA

DIRECTOR DE TESIS: ING. MANUEL JESUS CASTILLO AGUILAR



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

- OBJETIVO
- INTRODUCCION
- CAPITULO I.- Descripción del proceso de fabricación de papel a partir de desperdicio.
- CAPITULO II.- Detección y Análisis del problema.
 - 2.1 Generalidades.
 - 2.2 Clasificación de desperdicios industriales.
 - 2.3 Técnicas de Análisis.
- CAPITULO III.- Teoría sobre el tratamiento de aguas industriales.
 - 3.1 Generalidades.
 - 3.2 Terminología.
 - 3.3 Niveles de Tratamiento.
 - 3.3.1 Tratamiento Primario.
 - 3.3.2 Tratamiento Secundario.
 - 3.3.3 Tratamiento Terciario.
 - 3.3.4 Tipos de Equipo.
 - 3.3.5 Diferentes Alternativas.
- CAPITULO IV.- Tratamientos propuestos para solucionar el problema.
 - 4.1 Coagulación y Floculación.
 - 4.1.1 Tipos de Coagulantes.
 - 4.1.2 Efecto del PH sobre la coagulación.
 - 4.1.3 Efecto de la temperatura sobre la coagulación
 - 4.2 Sedimentación.
 - 4.3 Filtración.
 - 4.4 Equipo.
- CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFIA

OBJETIVOS DE LA TESIS

Hacer una investigación y recopilación bibliográfica de métodos de tratamiento de agua para fabricación de papel.

Investigación en diferentes plantas papeleras sobre cual es el mejor y más completo de los procesos de tratamiento de agua, además los tipos de coagulantes, y cual es el que mejor funciona.

Aplicando el estudio bibliográfico se pretende optimizar el consumo de agua en una fábrica de papel usando un reciclaje, para que no haya necesidad de tomar agua de la red municipal.

Disminuir al máximo el flujo de agua contaminada al drenaje.

INTRODUCCION

Como es sabido las industrias fabricantes de papel además de ser grandes consumidoras de agua, son aquellas que más tienden a contaminarla, por lo cual se presenta la necesidad de que exista un proceso de recuperación y un buen control de calidad en el agua de estas industrias.

Por lo tanto en el siguiente proyecto se pretende plantear una solución a este problema; refiriendonos en particular a aquellas industrias que producen papel a partir de la reutilización de desecho del mismo; de tal forma nuestro objetivo principal será el proponer un sistema de tratamiento el cual nos permita la obtención de agua del efluente con una calidad tal que sea posible la recirculación casi total.

Dicho sistema consistiría en un tratamiento primario y uno secundario, con los cuales se pretende eliminar las partículas de celulosa que se encuentran disueltas y/o en suspensión, así como también, las colonias de bacterias presentes; asegurando con esto:

- I.- Que el agua reutilizada sea de una calidad tal que nos de como resultado un papel de buena calidad.
- II.- Que el agua residual vertida cumpla con las disposiciones exigidas por SEDUE.

Por otra parte es necesario mencionar el hecho de que se presenta una considerable disminución en el consumo de agua municipal, por consiguiente:

- I.- Se obtendrá una disminución considerable en el costo de este proceso de fabricación de papel.
- II.- Al utilizarse una menor cantidad de agua directa de la red se dispondrá de este ahorro para satisfacer necesidades prioritarias de la población.

CAPITULO I

PROCESO DE FABRICACION DE PAPEL A PARTIR DE DESPERDICIO

El proceso de fabricación de papel implica una secuencia continua de - operaciones en las cuales se manejan variables que nos darán las características deseadas para cada clase de papel.

PREPARACION DE PASTA (PULPA)

La operación consiste en la hidratación de la materia (papel desperdicio), en un Hidrapulper, el cual por un trabajo mecánico produce una agitación turbulenta que provoca la separación de las fibras, cuando estas las consideramos lo suficientemente hidratadas y separadas por un tiempo determinado de agitación, la mezcla es bombeada a un sistema de depuración mecánica (zaranda), para separar los contaminantes de mayor tamaño a los barrenos de la Criba vibratoria, como son plásticos, madera, lazos, etc.. de la zaranda, la mezcla descarga al tanque de molino para luego pasar al tanque de refinación de donde es bombeada a un depurador centrífugo de alta consistencia, donde la pulpa es sometida a una fuerza centrífuga y a un contrafujo que provoca que las partículas más pesadas que la fibra se depositen en el fondo del equipo (grapas, arena, etc.), la pulpa es descargada al tanque de refinación, la recirculación se hace hasta alcanzar el freenes deseado, a esta mezcla de fibras y agua se le denomina pasta.

El refinador que consta de un rotor y estator, ambos con cuchilla que provoca una mejor separación individual de las fibras y dan el tamaño longitudinal deseado de las mismas, este equipo es controlado por la carga que - toma el motor eléctrico que transmite el movimiento rotatorio al refinador, la cual es inversamente proporcional a la separación de las cuchillas del rotor y estator, comprobando la eficiencia de este equipo por la prueba denominada freenes.

En el tanque de refinación se le adicionan las sustancias químicas que darán algunas de las características deseadas al papel como producto terminado (colorantes, encolantes, etc.).

De el tanque de refinación y cuando se considera la pasta con el freeness específico para la clase de papel a fabricar, pasa al tanque de colchón de máquina donde se mantiene homogénea por agitación constante para luego pasar al tanque de máquina y de ahí es descargada a la caja de dilución para dar a la pasta la consistencia necesaria a la clase de papel a procesar la pasta descarga a un equipo de depuración mecánica (zaranda), con los barrenos de la criba de menor diámetro que la anterior, la pasta es descargada a otro sistema de depuración que llamamos arenero, que consiste en pasar la pasta a poca velocidad por un canal en donde se depósita en el fondo las partículas de arena y otros contaminantes de mayor peso que la fibra que no fueron separados por los equipos de depuración anteriores.

Luego la pasta es sometida a un sistema de depuración centrífugo (VOR-JETTS), para alcanzar la máxima limpieza de la fibra de contaminantes que nos perjudican en la calidad del producto. Hasta aquí consideramos termina da la operación de preparación de pasta.

FABRICACION DE PAPEL.

SECCION DE FORMACION.

Después de los VOR-JETTS, la pasta es descargada a un tanque el cual descarga a la caja de formación que descarga la pasta en forma laminar sobre todo el ancho de la tela de la mesa de formación, a la cual se le da un movimiento transversal (traqueo), para un mejor acomodamiento y distribución de la fibra sobre la tela, pasando la tela por rodillos desgatadores e hidrofoll, los cuales son sistemas de eliminación del agua de forma natural, pasando a continuación la tela sobre cajas de succión y cilindro de succión, los cuales son sistemas de eliminación de agua por vacío mecánico, eliminando así en la mesa de formación el máximo de agua posible que contengan las fibras.

SECCION DE PRENSAS.

De la mesa de formación pasa la guía a la Sección de Prensas donde es sometida la guía a una operación de prensado para eliminar el agua en la mayor cantidad posible.

La guía es transportada por fieltros pasando por primera y segunda -- prensa, para así pasar a la Sección de Secadores.

SECCION DE SECADORES.

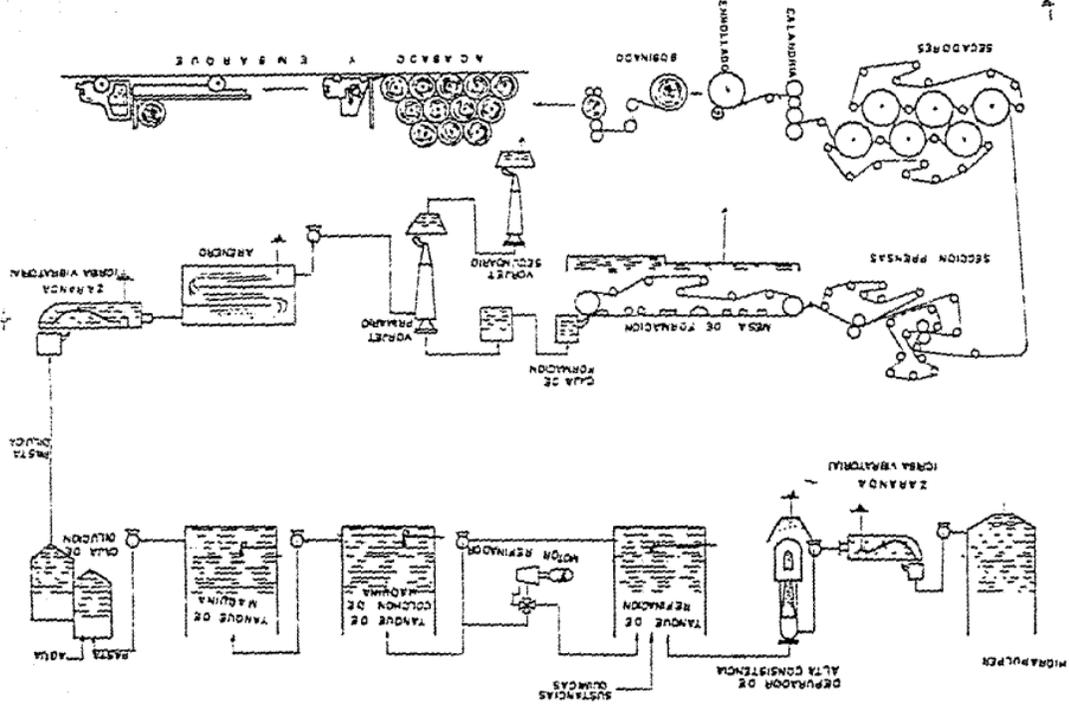
La sección de secadores es una operación de transferencia de calor, en el cual el calor entregado por el vapor de agua que contienen los secadores y que es absorbido por éste, lo transfiere a la guía eliminando así por evaporación el agua contenida en las fibras obteniendo el papel a la salida de esta sección con un mínimo porcentaje de humedad.

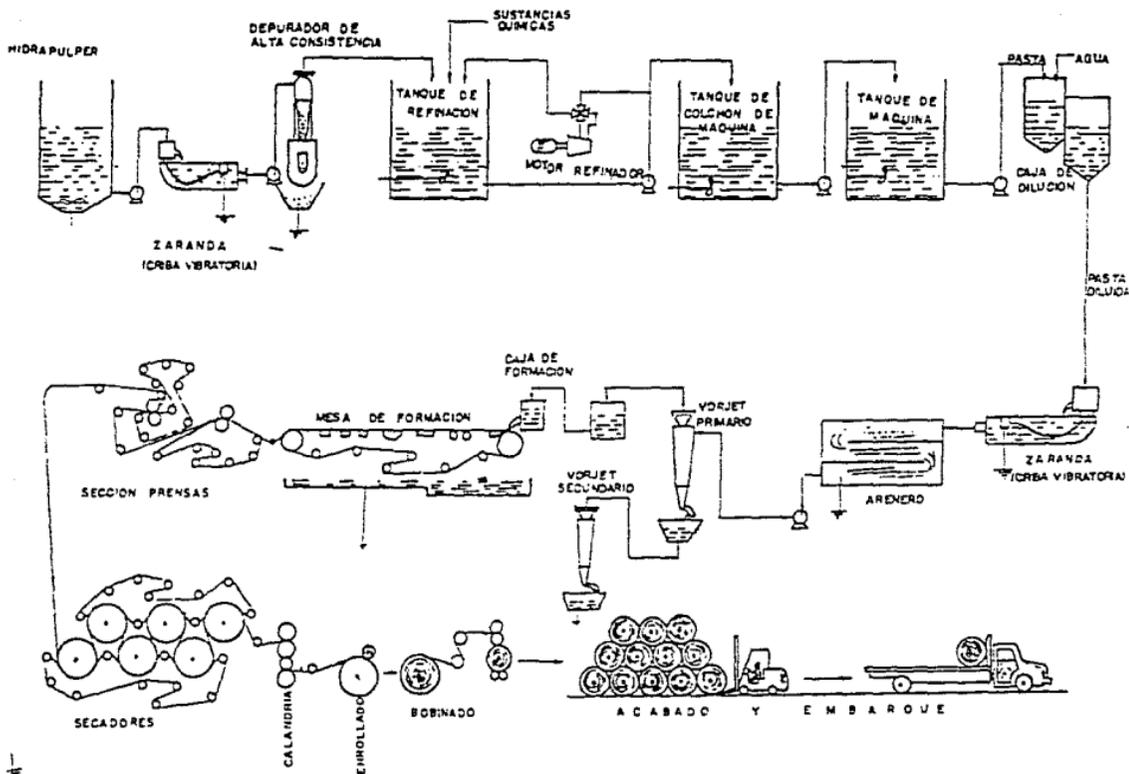
SECCION DE CALANDRA.

El papel pasa a la sección de secadores a la sección de calandra donde se le da una de las características que es el satinado, dependiendo ésta de la clase de papel que se fabrique, de la calandra pasa al enrollado para luego pasar el papel enrollado a la sección de Embobinado, que es donde se le da el acabado a los rollos con las especificaciones del cliente.

Esto es en términos generales el proceso de fabricación de papel, adjuntandose diagrama de flujo.

PROCESO DE FABRICACION DE PAPEL
 PAPELERA IRUNA, S.A. de C.V.





PROCESO DE FABRICACION DE PAPEL
PAPELERA IRUÑA, S.A. de C.V.

CAPITULO 11

DETECCION Y ANALISIS DEL PROBLEMA

2.1 GENERALIDADES

REUTILIZACION DE AGUAS INDUSTRIALES

Los productos de desperdicio pueden considerarse como una parte integral del proceso de fabricación y el precio de los productos debe incluir el costo del tratamiento de los desperdicios industriales.

En última instancia, el agua recirculada puede ser el producto más valioso debido a su escasez potencial, costo cada vez más alto, y gastos municipales elevados para el tratamiento de las aguas negras. La recuperación de las partículas finas del producto, el agua utilizable y la energía térmica, son los puntos clave para reducir los costos generales de tratamiento de los desperdicios que deben tenerse en cuenta en cualquier operación.

Con frecuencia, las corrientes de desperdicio pueden eliminarse o reducirse significativamente mediante modificaciones del proceso. Las industrias en general están cada día más concientes de la necesidad de un control total de la contaminación y de la recuperación del producto (o los subproductos).

Estos se deben no solo a los efectos de la contaminación sobre el medio ambiente, sino también a la reacción del público en general que constituye la clientela. Además, las industrias también dependen de los ríos y las corrientes de un país para el suministro adecuado de agua en sus procesos de fabricación.

Las aguas provenientes del sistema de fabricación de papel presentan las siguientes características:

MATERIA EN SUSPENSION

La materia en suspensión consiste de partículas insolubles, asentables o no asentables, tales como fango, materia orgánica o plankton, y ocasiona problemas en la fabricación de pulpa o papel. El material arenoso, abrasivo, puede causar dificultades al equipo o producir "agujeros de alfiler" en

el papel. Las partículas de origen vegetal pueden ocluir los fieltros y las telas metálicas; además de cambiar el tono o disminuir la blancura de la pulpa o papel y causar manchas o defectos en el producto terminado. La formación de espuma en las calderas también ha sido atribuida al material-suspendido.

La materia en suspensión se puede separar por sedimentación o floculación y filtración.

TURBIDEZ

La turbidez en el agua es ocasionada por partículas en suspensión o coloidales, finamente divididas, tales como arcilla, fango y microorganismos.

Un agua puede ser de color oscuro pero no turbia; por consiguiente, la turbidez y el color no se deben confundir. La turbidez no tiene equivalente químico; sin embargo, como medio de expresar los resultados, se reporta en partes por millón de sílice. La turbidez puede afectar adversamente la blancura y el color de los papeles blancos o teñidos. La turbidez puede eliminarse por floculación y filtración.

DUREZA

De acuerdo con su composición, las aguas pueden clasificarse como agua dura y aguas blandas, se clasifican correctamente por análisis, y se expresa en partes por millón, equivalentes por millón o granes por galón de carbonato de calcio equivalente. Cualquier sal disuelta que tenga poder destructivo hacia el jabón, causan dureza; las sales de calcio y magnesio son las más comunes, aunque el hierro, aluminio y los ácidos libres también causan dureza.

Existen muchas aguas, que contienen sólo dureza de carbonatos y unas cuantas aguas ácidas que contienen dureza de no carbonatos. En análisis de agua, la dureza se reporta como cantidad de carbonato de calcio que es equivalente a todas las sales de calcio y magnesio.

En el encolado de papel y del cartoncillo, las aguas duras son origen de dificultades. El agua empleada para diluir el encolante de jabón de lo más blanda posible, porque las sales de calcio y magnesio presentes en un agua dura precipitan jabones de cal y magnesio que destruyen parte del

encolante en forma de flóculos y espumaduras. Los resinosos insolubles de calcio y magnesio, que no tienen valor encolante, se forma porque las sales minerales del agua reaccionan con el encolante, haciendo que la brea se aglomere en partículas grandes, reduciendo así el encolante su poder cubriente de fibras. Frecuentemente, se usan cantidades aumentadas de alumbre para ayudar en el encolado.

Existen muchos lugares, como las pilas, tanques, tuberías, espesadores y tanques de vacío, en los que el uso de agua dura da lugar a la formación de incrustaciones. Algunas veces la incrustación se desprende y causa problemas en los procesos de fabricación de pulpa y papel. Si la incrustación se forma sobre la tela metálica de la máquina fourdrinter o de la de cilindros, habrá dificultades en la formación de la hoja y la vida de la tela se reducirá debido a la acción de la incrustación y a las propiedades corrosivas de los ácidos o medios mecánicos utilizados para removerla.

COLOR

El agua transparente-cristal es la más deseable para los procesos de manufactura porque las aguas muy coloreadas pueden afectar adversamente a las pulpas y a los papeles, tanto blancos como teñidos. Las fibras celulósicas absorben rápidamente las sustancias coloreadas y el tinte adquirido puede persistir hasta el producto terminado.

El color puede ser eficientemente eliminado del agua mediante métodos de coagulación química y filtración. El efecto perjudicial del agua con un alto contenido de materia orgánica puede también deberse a organismos vivos.

CONCENTRACION DE IONES HIDROGENO

La determinación del pH del agua es una importante medición en la industria de la pulpa y del papel.

El uso económico de cargas, colorantes, encolantes, etc., puede efectuarse adversamente por falta de conocimiento y de control de pH del agua.

Muchos materiales son muy sensibles a los cambios en la concentración de iones hidrógeno y por falta de control del pH puede disminuir la calidad del producto. Para una floculación exitosa es vital el ajuste en la concentración de iones hidrógeno. Actualmente, en las fábricas de pulpa y papel es común el control automático del pH del agua de proceso.

ALCALINIDAD

La alcalinidad del agua es un factor importante en el estudio de sus características de corrosión, porque de las cantidades totales de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos presentes. Estos tres compuestos no pueden existir al mismo tiempo en el agua, pero sí de manera independiente o por parejas adyacentes, o sea, bicarbonatos y carbonatos, ó carbonatos e hidróxidos.

Por conveniencia, la alcalinidad se reporta en términos de carbonato de calcio.

REUTILIZACION DEL AGUA

Características del agua blanca.

Se llama agua blanca al agua que drena, sin importar su color, de la pasta húmeda en las operaciones de fabricación de pulpa y papel. Además de la fibra, el agua blanca puede contener otros materiales, dependiendo del producto terminado, ya sea pulpa o papel.

Las aguas blancas pueden clasificarse, de acuerdo con su contenido de fibra, en pobres y ricas. Debido a que esta clasificación es arbitraria, en este trabajo se establecerá la división en 1 ó 2 lb de fibra por 1000 gal. (0.12 ó 0.24 gr de fibra por litro) de agua blanca, y, en donde el contenido de carga es una consideración importante.

REUTILIZACION DEL AGUA BLANCA EN LA FABRICA DE PAPEL.

Es bien sabido que la reutilización de agua blanca en las fábricas de papel es de gran significación económica. Debido a la necesidad de reducir la cantidad de agua que se usa se ha producido una ciclización mayor. Mientras que algunas fábricas usan hasta 95 m³ de agua fresca por cada tonelada de papel producido, existen otras que utilizan menos de 3.8 m³ por tonelada.

La mayoría de las fábricas intentan usar sistemas cerrados y algunas lo logran con todo éxito.

En un sistema cerrado el agua blanca rica (como la de las charolas, de las cajas de succión, de la fosa de la tela y de la fosa del cilindro de succión) se usa en la pila y para diluir la pasta antes de que pase a la caja de entrada.

Cuando esta demanda de agua se satisface, el agua blanca sobrante, junto con cualquier agua blanca pobre, se envía a un recuperador de fibras.

Algunas fábricas disponen tanques para recibir estas dos clases de agua blanca de modo que el agua blanca rica se use primero. El efluente de los recuperadores de fibras se usa en las espreas y regaderas, la reposición (cuando es necesaria) se hace con agua fresca. Las fábricas de papel que tienen una cantidad excesiva del efluente de recuperadores están usando al parecer agua fresca en otras partes del proceso y dicho exceso lo deben estar tirando al caño. Esta agua puede ser usada en la fábrica de pulpa o en el sistema de desentintado, si es que la fábrica está constituida de esta manera.

RECUPERACION DEL AGUA BLANCA

Toda el agua blanca de la máquina de papel que se necesite para dilución en los diversos pasos de la preparación de la pasta, se envía a un recuperador de fibras. La función de este equipo es separar la mayor parte de la fibra y de la carga del agua blanca. Tanto la fibra como la carga son apropiadas para volverse a utilizar en la hoja de papel que se está haciendo, quedando el efluente del recuperador para cualquiera de las siguientes aplicaciones: espreas y regaderas; agua de dilución en la preparación de la pasta; y fábricas de pulpa o sistema de desentintado en caso de haberlos.

En un sistema de agua blanca apropiadamente diseñado, el recuperador debe recobrar cuando menos el 95% de la fibra y de la carga.

CLASIFICACION DE DESPERDICIOS INDUSTRIALES

La gran diversidad de contaminantes industriales es una de las principales dificultades para catalogarlos, aún cuando desde el punto de vista de descripciones generales es posible establecer cinco categorías de desperdicios de origen industrial.

- 1.- Materiales que consumen oxígeno, cuyo monto de estima que es del orden de 13.5 millones de toneladas de demanda bioquímica de oxígeno de cinco días (DBO_5) por año, y que tienen una fuerza de descarga acumulada después del tratamiento, de cinco millones de toneladas de DBO_3 por año. Por lo tanto, esta estimación indica que la demanda de oxígeno de los desperdicios industriales sin tratamiento es 3.5 veces mayor que las aguas negras domésticas y 5.5 veces mayor cuando se comparan corrientes tratadas.
- 2.- Los sólidos sedimentables y suspendidos incorporados por los desperdicios industriales llegan a 11 millones de toneladas por año antes del tratamiento y a más de 3 millones de toneladas después del tratamiento, existiendo una relación entre los desperdicios industriales y los domésticos muy similares a los de los materiales con DBO.
- 3.- Las actividades fabriles incorporan al agua cantidades indeterminadas de muchos materiales que le imparten acidez o alcalinidad. Con frecuencia, estos materiales son directamente tóxicos. Estos materiales causan un cambio permanente en la calidad del agua, que no se reduce por asimilación natural. Los únicos remedios en estos casos son dilución y neutralización, aún este último proceso incrementa la concentración de sólidos disueltos totales.
- 4.- Los procesos industriales descargan actualmente una cantidad de calor equivalente a 9 152 000 BTU, la mayor parte proviene de la industria de generación de electricidad. Aunque se ejerce cierto control promedio de procedimientos de recirculación, es especial en las áreas áridas, la mayor parte del

agua de enfriamiento de las instalaciones industriales se descarga directamente en las corrientes naturales.

El calor constituye un contaminante pues reduce la utilidad del agua como medio de enfriamiento y puede alterar la ecología en forma radical.

- 5.- El agua puede contener compuestos tóxicos como resultado de los procesos industriales, ya sea por medio de descargas directas de las instalaciones productoras de dichos compuestos, o bien por la acción sinérgica de los materiales en el agua, así como por la acumulación en la cadena alimenticia.

Por consiguiente, los desperdicios industriales revisten gran importancia para cualquier posible estrategia de control de la contaminación.

2.3 TECNICAS DE ANALISIS

TECNICA 1

DETERMINACION DE ALCALINIDAD

REACTIVOS:

- Acido Sulfúrico 0.02 N
- Fenolftaleína
- Anaranjado de Metilo

PROCEDIMIENTO:

Tomar 100 ml de muestra (filtrar si es necesario), agregar --
unas gotas de solución de fenolftaleína, titular con H_2SO_4 --
0.02 N hasta vire de color que es de rojo a incoloro. Anotar--
los mililitros gastados (F).

Agregar unas gotas de solución de anaranjado de metilo y se --
guir titulado con H_2SO_4 0.02 N hasta vire del indicador que--
es del amarillo a rosado (M).

CALCULOS:

F = ml de H_2SO_4 gastados en la primera titulación.

M = ml de H_2SO_4 gastados en la segunda titulación.

$$\text{ppm Alcalinidad como } CaCO_3 = \frac{\text{ml gastados } H_2SO_4 \times 0.02 \times 0.05 \times 10^6}{\text{ml MUESTRA}}$$

$$\text{ppm Alcalinidad a la Fenolftaleína como } CaCO_3 = \frac{\text{ml gastados (F)} \times 0.02 \times 0.05 \times 10^6}{\text{ml MUESTRA}}$$

$$\text{ppm Alcalinidad al anaranjado de metilo como } CaCO_3 = \frac{\text{ml gastados (M)} \times 0.02 \times 0.05 \times 10^6}{\text{ml MUESTRA}}$$

$$\text{ppm Alcalinidad total como } CaCO_3 = \frac{\text{ml gastados totales} \times 0.02 \times 0.05 \times 10^6}{\text{ml MUESTRA}}$$

NOTA: Si toma 100 ml de muestra multiplique x 10
Si toma 50 ml de muestra multiplique x 20
Si toma 25 ml de muestra multiplique x 40

TECNICA 2

DETERMINACION DE ACIDEZ (pH)

MATERIAL Y EQUIPO:

- 1 Potenciómetro
- 1 Electrodo de Vidrio
- 1 Electrodo de Calomel
- 2 Vasos de precipitado de 50 ml.

PROCEDIMIENTO:

Por las diferencias entre las distintas marcas y modelos comerciales de medidores de pH, no es posible proporcionar instrucciones detalladas para la operación correcta de cada instrumento, debiendo seguirse, en cada caso, las instrucciones de los fabricantes.

El electrodo de vidrio y el de Calomel se deben humedecer y preparar para su uso, de acuerdo con las instrucciones indicadas. El instrumento se puede normalizar como una solución amortiguadora cuyo pH sea vecino al de la muestra.

TECNICA 3

DUREZA TOTAL

REACTIVOS:

- Solución Buffer de pH = 10 ($\text{NH}_4\text{OH}/\text{NH}_4\text{Cl}$)
- Solución de E.D.T.A. valorada de 0.01 M
- Indicador de negro de eriocromo

PROCEDIMIENTO:

Tomar una alícuota de 50 ml de agua, agregarle 1.0 ml de la solución Buffer, agregar 3 gotas de negro de eriocromo, esto toma una coloración roja. Titular con E.D.T.A. 0.01 M hasta la aparición de color azul.

CALCULOS:

$$\text{Dureza total} = \text{ml E.D.T.A} \times 20$$

$$\text{ppm CaCO}_3 = \frac{\text{volumen} \times 1000}{\text{volumen muestra}}$$

TECNICA 4

DETERMINACION DE DUREZA POR CALCIO

REACTIVOS:

- Solución de Sosa 1.0 N
- Indicador de Murexida

PROCEDIMIENTO:

Tomar una alícuota de 50 ml de agua, agregarle 2 ml de sosa 1.0 N, agregar un poquito del indicador de murexida, este toma una coloración rosa salmón. Se titula con E.D.T.A 0.1 M hasta color púrpura orquídea.

CALCULOS:

$$\text{Dureza de calcio} = \frac{\text{ml E.D.T.A} \times 1000}{\text{ml muestra}}$$

$$\text{Dureza por Mg} = \text{Dureza total} - \text{Dureza de Calcio}$$

TECNICA 5

TURBIEDAD

A. METODO DEL TURBIDIMETRO DE LA BUJIA DE JACKSON

Para turbiedades entre 25 y 1000 unidades, se vierte la muestra en el tubo de cristal hasta que desaparezca la imagen de la flama, debiendo observarse un campo uniformemente iluminado, sin manchas brillantes hacia el final. La muestra se debe agregar lentamente. Después de la desaparición de la imagen, se retira el 1% de la muestra y deberá ser nuevamente visible.

Para turbiedades entre 5 y 100 unidades, se harán por comparación con patrones para ello. Para valores menores de 5 unidades se mide la luz dispersada en lugar de la luz transmitida, porque se utilizarán otros métodos.

B. METODO DE BOTELLAS STANDAR

Colocar la muestra en una botella de vidrio claro. Agitar la muestra y cada standar vigorosamente y comparar las turbideces viendo horizontalmente a través de la botella los sólidos suspendidos.

Recordar la turbidez del standar más cercano o que coincida con la muestra.

C. METODO DE TURBIDIMETRO DE BAYLIS

Llenar los tubos de la muestra dejandolos parados hasta que las burbujas de aire alcancen la superficie.

Seleccione un standar el cual se parezca o tenga una turbidez cercana a la de la muestra en el turbidímetro.

Si la muestra tiene una turbidez tenue que sobrepase el valor de 5, entonces tendrá que ser diluida, hasta que este alineado al turbidímetro.

La turbidez de la muestra diluida y la razón de dilución.

INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

Las lecturas de turbiedad se registran con las aproximaciones señaladas a continuación:

AMBITOS DE TURBIEDAD UNIDADES	REGISTRESE APROXIMADO A UNIDADES
0.0 - 1.0	0.1
1.0 - 10.0	1.0
10.0 - 100.0	5.0
100.0 - 400.0	10.0
400.0 - 700.0	50.0
700.0 - más	100.0

TECNICA b

DETERMINACION DE SULFATOS.

REACTIVOS:

- Carboxilarsenazo (0.01% w/v)
- Acetona
- Cloruro de Bario 0.02 N
- Piridina
- Acido Clorhídrico 0.1 N

PROCEDIMIENTO:

Hacer cualquier dilución y tomarla en cuenta para los cálculos.

- 1.- Tomar 100 mililitros de muestra problema, (si toma 1 ml de muestra agregar 9 ml de agua destilada).
- 2.- Agregar 50 ml de acetona.
- 3.- Agregar 0.2 ml de ácido clorhídrico 0.1 N.
- 4.- Agregar 0.2 ml de piridina.
- 5.- Agregar 1 ml de indicador carboxilarsenazo.
- 6.- Agitar y titular con $BaCl_2$ 0.02 N hasta color azul púrpura.

NOTA: Por cada 2 ml de $BaCl_2$ que se gaste al titular, agregar 10 ml de acetona, con el fin de mantener la relación de agua acetona = 1/5.

CALCULOS:

$$\%SO_4 = w/v = \frac{(ml BaCl_2) \times 0.02 N \times 0.048 \times 100 \times F}{\text{Volumen muestra}}$$

F = Factor de dilución

W = peso en g.

V = volumen en ml.

$$ml BaCl_2 = \begin{matrix} ml gastados BaCl_2 & - & ml gastados BaCl_2 \\ \text{en problema} & & \text{en blanco} \end{matrix}$$

NOTA: Correr un testigo con 10 ml de agua destilada más reactivos.

TECNICA 7

DETERMINACION DE SOLIDOS EN SUSPENSION, SOLIDOS DISUELTOS Y TOTALES.

SOLIDOS EN SUSPENSION.

Son los sólidos que quedan en el medio filtrante después de haber filtrado la muestra.

PROCEDIMIENTO:

En filtro millipore puesto a peso constante en la estufa a 90°C durante 30 minutos. Filtrar 100 ml de sólidos en suspensión obtener ppm relacionar a un litro.

SOLIDOS DISUELTOS.

Son los sólidos contenidos en una muestra de agua después de filtrada, o sea después de eliminar los sólidos en suspensión.

PROCEDIMIENTO:

En cápsula de porcelana a peso constante evaporar los 100 ml de muestra. La diferencia de pesos son los miligramos por 100 ml de sólidos disueltos.

$$\text{Sólidos Totales} = \text{Sólidos en Suspensión} + \text{Sólidos Disueltos.}$$

TECNICA 8

DETERMINACION DE SOLIDOS SEDIMENTABLES EN AGUAS DE DESECHO.

Los sólidos sedimentables, son aquellos que se encuentran en suspensión y se sedimentan al estar en reposo, por acción de la gravedad, únicamente los sólidos suspendidos con una gravedad específica mayor que la del líquido que los contiene, se sedimentan.

Los sólidos sedimentables se pueden determinar y registrar por volumen (ml/l) o por peso (mg/l).

PROCEDIMIENTO:

- a) SOLIDOS EN VOLUMEN.- Se llena un cono Imhoff, hasta el aforo de 1 litro, con una muestra perfectamente mezclada. Se deja reposar durante 45 min., se frota cuidadosamente, sin agitar el líquido, las paredes del cono, con una varilla de vidrio o haciendo girar el cono repetidamente; se deja reposar otros 15 min. y se registra el volumen de sólidos.

dos sedimentados en el cono, como ml/l.

- b) **SOLIDOS EN PESO.**— Esta técnica define los sólidos sedimentables, como aquellos que no se mantienen en suspensión durante el período de reposo o bien sea porque se sedimentan en el fondo, o porque flotan en la superficie.

TECNICA 9

OXIGENO DISUELTO.

Todo organismo vivo depende del oxígeno para mantener su proceso metabólico del cual obtiene la energía necesaria para su crecimiento y reproducción. El oxígeno se encuentra disuelto en el agua y su concentración en la misma depende de la presión atmosférica, temperatura y la salinidad o del contenido de sólidos disueltos. La solubilidad del oxígeno en agua dulce va de 14.6 mg/l a 0 °C hasta 7 mg/l a 35 °C a una atmósfera de presión. A temperatura alta, el oxígeno disuelto disminuye.

APARATOS Y REACTIVOS:

- Estufa a 120 °C
- Balanza Analítica
- Solución de sulfato cúprico al 10%
- Solución de sulfato doble de aluminio y potasio al 10% (se disuelven 100 g. de sulfato doble de aluminio y potasio en agua destilada y se afora a 1 lt.).
- Solución de hidróxido de sodio 12 N.
- Solución de sulfato manganoso.
- Solución de álcali-yoduro-azida.
- Solución indicadora de almidón.
- Acido Sulfúrico concentrada
- Solución madre de tiosulfato de sodio 0.1 N.
- Solución valorada de tiosulfato de sodio 0.025 N.

MATERIAL DE LABORATORIO:

- Frasco de 300 ml con tapón esmerilado especiales para DBO (demanda bioquímica de oxígeno).
- Bureta graduada de 50 ml.
- Soporte metálico.
- Pinzas para bureta.
- Manguera latex.
- Pipetas serológicas de 10 ml de punta alargada.

- Pipetas serológicas de 5 ml de punta alargada.
- Vasos de precipitado de 250 ml.
- Vasos de precipitado de 50 ml.
- Matraces aforados de 1000 ml.
- Matraces aforados de 250 ml.
- Desecador.
- Frascos claros boca angosta esmerilado de 1000 ml.

PROCEDIMIENTO

En un frasco claro de 1000 ml con boca angosta esmerilada, se adicionan de 10 a 15 ml de la solución sulfato de cobre antes de agregar la muestra, a continuación se vacía o se vierte la muestra en el frasco hasta que derrame y se tapa inmediatamente, se agita y se lleva al laboratorio.

Se agregan de 10 a 15 ml de la solución de sulfato doble de aluminio y potasio procurando que la punta de la pipeta este dentro del agua, se agita el frasco y se deja reposar hasta que se separen los sólidos, a continuación se adicionan de 2 a 2.5 ml de la solución de hidróxido de sodio 12 N, la adición se hace de la misma forma que en el reactivo anterior.

Se agita el frasco y se deja reposar hasta lograr la clarificación de la muestra.

Por medio de un sifón, se pasa el sobrenadante clarificado a los frascos respectivos de DBO, de cada una de las muestras.

Para fijar el oxígeno se adicionan a la botella de DBO conteniendo a la muestra clarificada, 2 ml de la solución de sulfato manganoso ($MnSO_4$) -- con una pipeta graduada cuidando que la punta de la misma penetre aproximadamente 0.5 cm en el seno del agua, se agita unos segundos por inversión. A continuación se agregan 2 ml de la solución de álcali-yoduro-azida; la adición se hace de la misma forma que el reactivo anterior. Al -- agregar esta solución se forma un precipitado café, si no, oxígeno disuelto, en caso negativo el precipitado será blanco. Se tapa la botella de DBO y se agita por inversión vigorosamente durante 30 segundos después de los cuales se deja sedimentar el precipitado. Finalmente se adicionan 2 ml de ácido sulfúrico concentrado y se agita por inversión hasta la total disolución del precipitado. Con esto el oxígeno disuelto queda fijado. Se pasa una alícuota de 100 ml. de la muestra contenida en la botella de DBO a un matraz erlenmeyer de 250 ml y se titula con la solución

valorada de tiosulfato de sodio 0.025 N hasta la decoloración de la muestra de un amarillo paja. Se agregan 1 a 2 ml de la solución de almidón y se continúa la titulación hasta la primera desaparición del color azul.

CALCULOS

mg/l Oxígeno disuelto = $\frac{\text{ml Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ consumidos en la titulación} \times \text{N} \times 8 \times 1000}{\text{Vol. de muestra (ml)}}$

Vol. de muestra (ml)

N: normalidad de la solución de tiosulfato de sodio.

Corrección por la adición de reactivos

Reactivos agregados = 4 ml (2 ml de solución de sulfato manganoso y 2 ml de la solución de álcali- yoduro-azida) en 300 ml de muestra original.

Si se toman 100 ml de muestra

$$\frac{300}{300 - 4} = \frac{100}{X} \quad X = 98.7$$

Sustituyendo y rectificando el volumen de muestra

mg/l Oxígeno disuelto = $\frac{\text{ml Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ consumidos en la titulación} \times 0.025 \times 8 \times 1000}{98.7}$

o también:

mg/l Oxígeno disuelto = $\text{ml Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ consumidos en la titulación} \times 2.30$

TECNICA 10

DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO

La prueba de la demanda química de oxígeno (DQO) se emplea para medir el contenido de materia orgánica presente en las aguas naturales y de desecho, es también usada para medir la materia orgánica de los desechos industriales y municipales que contienen sustancias tóxicas para la vida biológica.

APARATOS Y REACTIVOS

- Placa caliente con control de temperatura
- Estufa
- Solución de dicromato de potasio 0.25 N
- Solución de ácido sulfúrico con sulfato de plata. (Se disuelven 10.2 g de plata Ag_2SO_4 en un litro de ácido sulfúrico concentrado).
- Solución valorada de sulfato ferroso amoniacal 0.1 N
- Indicador de Ferroín.
- Sulfato mercúrico en cristales, grado analítico.

MATERIAL DE LABORATORIO

- Embudo de 6-7 cm de diámetro de talle largo (es conveniente doblar el talle hasta formar un ángulo de 90°).
- Matraces de 250 o de 500 ml con cuello esmerilado entrada 24/40.
- Refrigerante Friedrich u otro equivalente, con junta esmeriladas entrada-24.
- Manguera de hule de 0.6 cm de diámetro.
- Pinzas para bureta.
- Vasos de precipitado de 2000, 1000, 250 y 150 ml
- Matraces aforados de 2000, 1000, 500 y 100 ml
- Bureta graduada de 50 ml.
- Matraces erlenmeyer de 500 ml.
- Probeta graduada de 100 ml.
- Pipeta volumétrica de 20, 10 y 5 ml.
- Pipetas serológicas de 10, 5 y 1 ml.
- Papel filtro Wathman No 40 de 11 cm de diámetro.
- Tees de vidrio.
- Frascos gotero.
- Desecador con agente desecante.

PROCEDIMIENTO:

Demanda química de oxígeno total: se agita el frasco con la muestra y se toma de inmediato la alícuota correspondiente que dependerá del sitio de muestreo y se completa con agua destilada hasta tener un volumen de 20 ml -

se agregan 0.4 g de sulfato mercúrico en cristales $HgSO_4$ a un matraz erlenmeyer de 250 ó 500 ml con cuello esmerilado para reflujo, y se mezclan (el uso de 0.4 g de $HgSO_4$ es suficiente para formar un complejo hasta con 2000-mg/l de ión cloruro; si hay más cloruros en la muestra se debe agregar el $HgSO_4$ en cantidad suficiente para mantener una relación 10:1). Se agregan (al mismo matraz de reflujo con la muestra y el $HgSO_4$) 10 ml de la solución de dicromato de potasio 0.25 N y varias perlas de ebullición o varios trocitos de piedra pómez. Lentamente y de preferencia en baño de agua se agrega al matraz 30 ml de la solución de ácido sulfúrico con sulfato de plata mezclando cuidadosamente mientras se agrega el ácido; las adiciones de esta solución deben ser en pequeños volúmenes a fin de no crear una reacción demasiado violenta. El matraz se conecta al condensador Friedrich asegurándose que quede bien colocado en su base para evitar calentamientos locales en el fondo del matraz y que la muestra pueda ser expulsada del condensador. Llevar a reflujo durante 2 horas (el aparato debe tenerse ya listo con las conexiones de agua corriente). Se enfría y se lava el condensador con agua destilada, procurando que esta agua caiga dentro del matraz por lo que se recomienda se utilice una piseta para tal lavado. Se diluye la mezcla a -- 150 ml aproximadamente, con agua destilada, se enfría a la temperatura ambiente y se titula el exceso de dicromato con la solución de sulfato ferroso amoniacal 0.1 N utilizando de 2 a 3 gotas del indicador ferroín. El cambio de color va de naranja fuerte a azul verdoso a café rojizo y el cual debe tomarse como punto final de vire aunque el color azul verdoso vuelva a aparecer.

En esta forma simultánea con las muestras se lleva a reflujo un testigo con 20 ml de agua destilada en lugar de la muestra, agregando la misma cantidad de reactivos y cuidando que la ebullición empiece al mismo tiempo que en la muestra.

Para la determinación de DQO (soluble) primero se filtra la muestra y posteriormente sigue todo el procedimiento anteriormente descrito.

En caso de que se varíe la cantidad de muestra en ámbito de 10 a 50 ml

esta puede ser usada con tal de que los volúmenes, pesos y normalidades para los otros reactivos estén en proporción directa. Los ejemplos típicos es -
tán dados en la siguiente tabla:

MUESTRA	SOLUCION DE DICROMATO DE POTASIO 0.25N	SOLUCION DE ACIDO SULFURICO CONC. CON SULFATO DE PLATA	SULFATO MERCURICO EN CRIS- TALES	NORMALIDAD DE LA SOLUCION SULFATO FERROSO AMONIACAL	VOLUMEN FINAL ANTES DE LA TITULACION
(ml)	(ml)	(ml)	(ml)	(ml)	(ml)
10	5	15	0.2	0.05	70
20	10	30	0.4	0.10	140
30	15	45	0.6	0.15	210
40	20	60	0.8	0.20	280
50	25	75	1.0	0.25	350

Los resultados serán satisfactorios si se mantienen estas proporciones

CALCULOS

Los mg/l de la demanda química de oxígeno DQO en la muestra se calculan de la siguiente manera:

$$\text{mg/l DQO} = \frac{(a - b) N \times 8000}{\text{ML DE MUESTRA}}$$

a: ml de la solución de sulfato ferroso amoniacal del testigo

b: ml de la solución de sulfato ferroso amoniacal de la muestra.

N: normalidad de la solución de sulfato ferroso amoniacal

TECNICA II

DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO)

El parámetro de contaminación orgánica más utilizado y aplicado a --
aguas superficiales y residuales es la demanda bioquímica de oxígeno DBO.

La DBO es una prueba analítica a través de la cual se estima la canti-
dad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica de una --
muestra de aguas residuales por medio de una población bacteriana o dicho --
de otra manera representa la cantidad de oxígeno que se necesita para esta-
bilizar biológicamente la materia orgánica presente. Así, si hay grandes --
cantidades de materia orgánica oxidable en las aguas residuales, el valor --
de la DBO será grande.

APARATOS Y REACTIVOS

- Incubadora capaz de mantener la temperatura interna de 19.5 a 20 °C.
- Potenciómetro.
- Compresor de aire o bomba de presión y vacío.
- Solución amortiguadora de fosfato (se disuelven 8.5 g de fosfato de potasio monobásico KH_2PO_4 ; 21.75 g de fosfato de potasio dibásico K_2HPO_4 ; 33.4 g de fosfato de sodio dibásico $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y 1.7 g de cloruro de amonio en agua destilada y se afora a un litro. El pH de esta solución debe ser de 7.2).
- Solución de sulfato de magnesio (se disuelven 22.4 g de sulfato de magnesio $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada y se afora a un litro).
- Solución de cloruro de calcio (se disuelven 27.5 g de cloruro de calcio en agua destilada y se afora a un litro).
- Solución de cloruro férrico (se disuelven 0.25 g de cloruro férrico en agua destilada y se afora a un litro).
- Agua de dilución (se mide el volumen requerido de agua destilada [2 litros por muestra aproximadamente] en un recipiente adecuado y se agrega 1 ml de cada una de las soluciones amortiguadoras de fosfatos, de sulfato de magnesio, de cloruro de calcio y de cloruro férrico, por cada litro de agua destilada). El agua de dilución debe aerearse ya sea por agitación o por medio de una corriente de aire comprimido durante 20 minutos. Debe utilizarse el día que se prepara.
- Solución de NaOH 0.1 N
- Solución de H_2SO_4 0.1 N
- Solución de sulfito de sodio 0.025 N
- Solución de sulfato manganoso
- Solución de alcali-yoduro-ácida
- Ácido sulfúrico concentrado.
- Solución de tiosulfato de sodio 0.025 N

MATERIAL DE LABORATORIO

- Agitador tipo émbolo
- Bureta
- Canastilla metálica
- Frascos para DBO

- Frascos gotero
- Garrafón de 20 litros de vidrio
- Matraces aforados de 1000, 500 y 100 ml.
- Manguera latex
- Marcador
- Pipetas graduadas de 10 ml.
- Pipeta volumétrica de 100 ml.
- Probeta de 100 y 50 ml.
- Pinzas Mohr.
- Pinzas para bureta.
- Soporte para bureta.

PROCEDIMIENTO

Método de dilución, éste es el método que se utiliza en aguas residuales; las diluciones recomendadas son las siguiente:

<u>Tipo de agua</u>	<u>DBO, estimada</u>	<u>% dilución</u>
Agua de desecho industrial	500-5000	0.1 - 1.0
Aguas residuales domésticas	100-500	1.0 - 5.0
Aguas tratadas sin desinfección	20-100	5.0 - 30
Aguas superficiales	1-20	30 - 100

Como la DBO estimada cae en un amplio ámbito, es necesario hacer 2 a 3 diluciones de la muestra y la dilución que consuma del 40 al 60% del oxígeno disuelto inicial serán las más confiables.

Se preparan los frascos de DBO, lavándolos con mezcla crómica y enjuagando con abundante agua, posteriormente con agua destilada. Se secan de - jándolos escurrir, y a partir de este momento se mantendrán con sus tapones de vidrio en el momento de su uso se procede a marcarlos con el porcentaje de dilución de la muestra y a que punto de muestreo corresponden.

La determinación se hace para la DBO total y la DBO soluble.

La DBO total se lleva a cabo de la siguiente manera:

- Se prepara el número de frascos necesarios para cada uno de los puntos - muestreados, tanto para el tiempo inicial (DBO) como para el quinto día - (DBO₅).
- Se agita el frasco donde se encuentra la muestra cada vez que vaya a to - mar una alícuota de ésta.

- La alicuota se toma con una pipeta volumétrica o serológica; si existen sólidos que obstruyan el flujo por la pipeta entonces se recomienda medir con probeta.
- Se vierte la cantidad de muestra requerida en cada uno de los frascos de DBO. Esto se lleva a cabo como sigue:
 - Influyente 1, 2 y 3%
 - Efluente primario 1, 2 y 3%
 - Efluente secundario dependiente de la calidad del efluente puede ser desde 5, 10, 15, 20, 25 y 30%.

Estos porcentajes son con respecto al volumen del frasco de DBO, (300-ml) y basado en datos de la demanda química de oxígeno (DQO).

Ejemplo: Si en el influente se tiene una DQO de 500 mg/l el porcentaje a aplicar será aproximadamente de:

Porcentaje	ml de muestra
1%	3
2%	6
3%	9

-Se aforan los frascos de DBO, que contienen la muestra, además de uno como testigo, con agua de dilución solamente; esta agua de dilución se agrega por medio de un sifón cuidadosamente y procurando no formar burbujas, hasta donde llega la parte superior del esmerilado. En seguida se tapa el frasco; a los frascos que guarden en la incubadora no se les debe tirar el agua sobrenadante ya que ésta le sirve como sello hidráulico, el cual hay que mantener durante todo el tiempo de incubación, llenándolo cuando sea necesario con agua destilada.

-Se procede a la determinación del oxígeno disuelto inicial siguiendo el método descrito en el inciso correspondiente.

-Se agregan los reactivos a los frascos a tiempo cero (DBO inicial) al igual que en la determinación de oxígeno disuelto. Después de transcurrir los 5 días de incubación (DBD), se sacan los frascos y se adicionan los reactivos al igual que en la determinación de oxígeno disuelto inicial.

El límite máximo de la DBO que se permite en el agua de dilución es de 0.2 mg/l. Si se obtiene un valor mayor, esto indicará que existe un error en el análisis (manual).

CALCULOS

Corrección de demanda inmediata de oxígeno disuelto. Algunos desechos industriales contienen sustancias reductoras como sulfitos, sulfuros, hie - rro como ión ferroso y aldehídos que ocasionan una demanda química inmedia - ta de oxígeno disuelto.

$$DIOD = OD \text{ inicial} - OD \text{ después de 15 min. de siembra.}$$

$$DBO_5 \text{ mg/l} = \frac{(DIOD \text{ mg/l } 5 \text{ días})}{\% \text{ de dilución en decimales}}$$

Cuando no se hace la corrección de DIOD los cálculos son:

$$DBO_5 \text{ mg/l} = \frac{(OD_0 \text{ mg/l} - OD_5 \text{ mg/l}) \text{ muestra} - (OD_0 \text{ mg/l} - OD_5 \text{ mg/l}) \text{ agua de dilución}}{\% \text{ de dilución en decimales}}$$

La DBO soluble se lleva a cabo de la siguiente forma:

- Se procede a la filtración de la muestra empleando papel filtro Whatman - No 40 de 11 cm. de diámetro.
- A la muestra filtrada se le aplica el mismo procedimiento que el empleado en la DBO total. En caso de las diluciones es posible incrementar algu - nas unidades porcentuales de la dilución de la muestra. Normalmente la - concentración de la DEC total será mayor a la de la DBO soluble.

" NORMAS SEDUE PARA DESECHO "

	<u>Promedio mensual de 8 muestras no exce- derá</u>	<u>Ninguna muestra individual exco- derá</u>	<u>Carga máxima Kg/día</u>
DBO AL 5° día a 20 °C	200 mg/l	240 mg/l	225
Sólidos suspendidos	200 mg/l	240 mg/l	225
Grasas y Aceites	50 mg/l	60 mg/l	56
Temperatura	-	35 °C	-
PH	-	No mayor a 9 ni menor a 6	-
Sólidos sedimentables	-	9.6 ml/l	-
Materia flotante	-	Ninguna que pueda ser retenida por- malla 3 m de cla- ro libre cuadrado	-
Color (Escala Pt-Ca)	-	100 unidades	-
Coliformes totales	10000 NMP/100ml	20 000 NMP/100 ml	-

CAPITULO III

TEORIA SOBRE EL TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES

3.1 GENERALIDADES.

Las industrias usan grandes cantidades de agua y constituyen el principal factor en el incremento continuo de la contaminación de la misma. Aunque usan más de 60 billones de litros de agua solo menos de 20 billones de litros se tratan antes de descargarla. Las enormes cantidades de desperdicios minerales y químicos de las fábricas, que son cada vez más complejos y variables, son más indeseables aún que la DBO. Los desperdicios degradan la calidad y el color, a través de un exceso de mineralización, salinidad, dureza y corrosión. Algunas de estas contaminaciones son tóxicas para la vida vegetal y animal.

La diversidad y complejidad de los componentes inorgánicos y orgánicos de los efluentes industriales representan un problema muy serio de tratamiento de las aguas negras industriales, pues son mucho más importantes que las de los drenajes municipales.

3.2 TERMINOLOGIA.

A continuación se explican varios de los términos más comunes de la tecnología del tratamiento de aguas de desecho, que ayudarán al lector a familiarizarse con esta terminología y comprender mejor los procesos que se estudiarán.

ABSORCION: Método avanzado para el tratamiento de desperdicios en el que se usa carbón para eliminar a la materia orgánica que no puede separarse por clasificación o tratamiento biológico.

AGUAS RECEPTORAS: Son ríos, lagos, océanos u otros cuerpos de agua que reciben las corrientes de desperdicios tratados o sin tratar.

COAGULACION: Aglomeración de partículas sólidas para lograr que se sedimenten con más rapidez. La coagulación de sólidos se lleva a cabo por medio de uso de ciertas sustancias tales como cal, alumbre o polielectrolitos.

DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO) : Es la cantidad de oxígeno necesaria para el agua, para que las bacterias consuman los desperdicios orgánicos.

Se usa como una medida indicativa de la efectividad del tratamiento de las aguas negras.

FILTRO PERCOLADOR: Es un lecho de rocas o piedras; las aguas de desecho go tean este lecho de tal manera que las bacterias puedan descomponer los desperdicios orgánicos. Las bacterias se acumulan en las piedras por el uso-repetido del filtro.

FILTRO DE ARENA: Eliminan los desperdicios orgánicos de las aguas negras, - la corriente de desperdicio se hace gotear sobre un lecho de arena. El aí re y las bacterias descomponen los desperdicios que se van filtrando a través de la arena.

El agua limpia fluye a través de desagües en el fondo del lecho. Pe - riódicamente es necesario extraer los lodos que se acumulan en la superfi - cie del lecho.

FLOCULACION: Proceso por medio del cual se añaden productos químicos para-formar flóculos aglomerados de los sólidos de las aguas negras.

FLOCULO: Aglomerado de sólidos que se forma con la adición de ciertas sus-tancias químicas.

LODOS: Son los materiales sólidos que se acumulan en el fondo de los tan - ques de sedimentación y que es necesario eliminar con una digestión u otro-método para completar el tratamiento.

PLANTA DE DESPERDICIOS: Es una serie de tanques, tamices, filtros y otros equipos de proceso, por medio de los cuales se eliminan los contaminantes - del agua.

SOLIDOS SUSPENDIDOS: Son los desperdicios que no se sedimentan al fondo o flotan como escoria, se separa con un trasador y los sólidos del fondo se bombean a los tanques de digestión de lodos.

3.3 NIVELES DE TRATAMIENTO.

Existen en la actualidad dos métodos básicos para el tratamiento de - aguas, que reciben el nombre de primario y secundario, y otro adicional que es el terciario.

En el tratamiento primario se permite que se sedimenten los sólidos para separarlos del agua. El tratamiento secundario, que es una etapa adicional de la purificación, se basa en el uso de productos químicos para ayudar a la purificación, y el tratamiento terciario está basado en procesos biológicos.

3.3.1 TRATAMIENTO PRIMARIO

A medida que una corriente de desperdicio entra a una planta de tratamiento primario, pasa por un tamiz que separa los objetos flotantes grandes tales como trapos y trozos de madera que podrían obstruir las bombas y los ductos. Estos tamices varían desde los muy gruesos hasta los muy finos desde los que consisten en barras paralelas de hierro o acero con aberturas hasta de 1 cm. y hasta mallas mucho más finas.

Por lo general, los tamices se colocan en una cámara o un canal en una posición inclinada con respecto al flujo de la corriente para facilitar su limpieza.

Los desperdicios atrapados en la superficie frontal del tamiz pueden separarse manualmente o mecánicamente. Algunas plantas usan un dispositivo conocido como triturador, que combina las funciones de un tamiz y un desmenuzador.

Estos atrapan los materiales sólidos pesados y los trituran. Al usar este método, el material desmenuzado permanece en el flujo para ser separado después en los tanques de sedimentación.

Después de tamizar la corriente, esta pasa a lo que se llama un arenero donde se produce la sedimentación de arenilla, escorias y piedras pequeñas. El arenero es muy importante para ciudades con sistemas de drenaje combinados, pues elimina la arenilla o grava que se arrastra de las calles durante las tormentas y que va a dar a las plantas de tratamiento. En general, la arenilla que se obtiene de este proceso, se usa para rellenos sanitarios de tierras en lugares cercanos a la planta de tratamiento.

En algunas plantas se usa otro tamiz después del arenero para eliminar cualquier otro material que pueda dañar al equipo o interferir con los procesos subsiguientes.

Una vez que se ha completado el tamizado y se ha eliminado la arenilla, la -- corriente de aguas negras todavía contienen sólidos en suspensión. Estos son partículas diminutas que pueden eliminarse por tratamiento en un tanque de sedimentación. Cuando se reduce la velocidad del flujo de la corriente al pasar por uno de estos tanques, los sólidos en suspensión se asentarán gradualmente en el fondo. A esta masa de sólidos se le llama lodos crudos.

Casi todas las plantas que se han construido durante los últimos 30 años incluyen dispositivos mecánicos para extraer los lodos de los tanques de sedimentación. En algunas de ellas el proceso es continuo y en otras a intervalos -- periódicos. Para completar el tratamiento primario, el efluente libre de lodos se clora para eliminar las bacterias patógenas y después se descarga a una corriente de río. La cloración también ayuda a reducir los olores.

3.3.2 TRATAMIENTO SECUNDARIO

El tratamiento secundario se basa principalmente en usar algún producto químico como ayuda de purificación, además de otros filtros. Esto es, usan coagulantes químicos tales como el alumbre. Además se usan filtros rápidos de arena otros tipos, todo esto con el fin de obtener una mejor clarificación del -- agua de desecho.

3.3.3 TRATAMIENTO TERCIARIO

El tratamiento terciario elimina hasta el 90% de la materia orgánica en las -- aguas negras, utilizando las bacterias que contienen. Los dos principales -- procesos para tratamiento terciario son los filtros Percoladores y el método -- de Lodos Activados.

FILTROS PERCOLADORES: Un filtro percolador o de escurrimiento es simplemente un lecho de piedras de uno a tres metros de profundidad, a través del cual se hace pasar las aguas negras. Las bacterias se acumulan y se multiplican en -- estas piedras en un número suficiente para consumir la materia orgánica de la corriente. El agua limpia escurre a través de tuberías en el fondo del filtro, para continuar el tratamiento.

Las aguas negras se vierten sobre el filtro de dos maneras.

PROCESO DE LODOS ACTIVADOS:

La tendencia actual consiste en usar el proceso de lodos activados en vez de los filtros percoladores. Este proceso acelera la acción de las bacterias introduciendo aire y lodos cargados de bacterias, que entran en contacto íntimo con las aguas negras. En el proceso de lodos activados, el efluente del tanque de sedimentación en el tratamiento secundario se bombea a un tanque de aereación donde se mezcla con aire y lodos cargados con bacterias, dejándolos en contacto durante varias horas. Durante este período, las bacterias descomponen la materia orgánica del tanque de aereación, las aguas de salida, a las que ahora se les llama licor mezclado, fluyen a un tanque de sedimentación para separar los sólidos.

La cloración del efluente completa el tratamiento terciario. Los lodos que ahora están activados con millones adicionales de bacterias y otros organismos minúsculos, que pueden usarse nuevamente regresándolos al tanque de aereación para mezclarlos con más aguas de desecho y grandes cantidades de aire.

El proceso de lodos activados, al igual que la mayoría de las demás técnicas, tiene ventajas y limitaciones.

La fase final del tratamiento terciario consiste en la adición de cloro al efluente que sale del filtro percolador o del proceso de lodos activados. El cloro suele adquirir en forma líquida y se inyecta en el efluente como gas, unos 15 a 30 min., antes de que se descargue en la corriente receptora. Cuando se lleva a cabo en forma apropiada, la cloración extermina más del 99% de las bacterias patógenas de un efluente.

3.3.4 EQUIPO

EQUIPO PARA ALIMENTACION DE PRODUCTOS QUIMICOS EMPLEADOS EN COAGULACION.

Todos los coagulantes ya sean aplicados mediante dosificadores en seco o en líquidos, se disuelven antes de agregarse al agua sujeta a tratamiento. Cuando se emplea equipo de dosificación en seco, el producto químico medio se descarga a un compartimiento de solución y se disuelve con la mayor rapidez posible para agregarse al agua cruda por medio de bombas, eyectores o alimentación por gravedad. Los tanques dosificadores de solución están equipados con mezcladores accionados con motor o con tuberías distribuidoras de aire o vapor para ayudar a la disolución.

Muchos productos químicos empleados en coagulación son corrosivos, y el equipo para alimentarlos deberá ser construido con materiales resistentes al ácido.

Generalmente, emplean tanques forrados con hule o plomo, tanques de tablillas de madera, así como acero inoxidable, monel, bronce y otros materiales resistentes.

DOSIFICADORES DE LIQUIDOS.

Tanques disolventes para productos químicos cristalinos. Uno de los dosificadores para alumbre es el tanque de alumbre (alum pot), también se empleó para alimentar el carbonato de sodio (fig. 1). En este equipo se colocan trozos de alumbre de potasio o amonio cristalizado dentro de un pequeño tanque a presión y la solución se efectúa por el peso de una fracción reducida del agua en forma continua a través de él. La corriente secundaria para disolver los productos químicos se toma la línea de agua cruda antes de un orificio instalada para este propósito y se retorna al agua después de éste. Se emplea una válvula de aguja para ajustar el flujo de agua de dilución y paralelamente al flujo de dosificación. Este método para aplicar alumbre y soda se emplea actualmente en muchas instalaciones pequeñas de filtros a presión en las que no existen facilidades para pre-coagulación.

Debido a que la superficie expuesta de los cristales cambia lentamente, el aparato no permite un control tan cuidadoso de la dosis de productos químicos como puede lograrse con otros equipos, pero es económico y fácilmente adaptable a la mayoría de los filtros a presión. Dado que no se lleva a cabo coagulación o sedimentación antes de llegar a los filtros es posible que algo de alumbre en solución pase por el lecho filtrante.

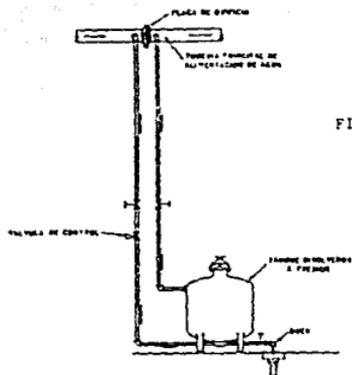


FIG. 1 TANQUE A PRESION PARA ALIMENTAR ALUMERE EN-CRISTALES O SAL SODA. (CARBONATO SODICO HIDRATADO)

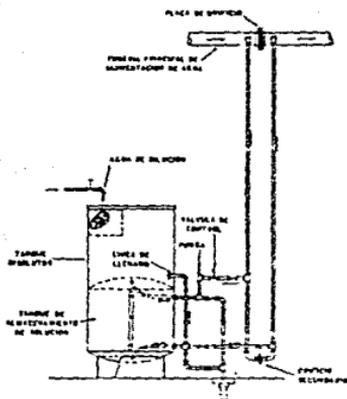


FIG. 2 DOSIFICADOR DE PRODUCTOS QUIMICOS POR DESPLAZAMIENTO DE LIQUIDOS.

DOSIFICADORES DE DESPLAZAMIENTO DE LIQUIDO.

La fig. 2 muestra una modificación del dosificador de tanque de solución. Aquí el alumbre u otro coagulante químico se disuelve, y la solución es descargada - posteriormente al tanque de desplazamiento. A causa de su mayor densidad, la - solución química permanece por debajo del pistón de agua cruda y es alimentado a la línea principal de agua por desplazamiento hidráulico. Es necesario preparar la solución a una gravedad específica alta con objeto de mantener los -- estratos separados. El límite entre el agua y la solución se indica mediante - un flotador de densidad dentro del tubo de vidrio indicador de nivel. Este aparato puede ser usado para alumbre, soda-ash y otros productos químicos cuyas -- soluciones sean suficientemente pesadas.

El agua se deriva alrededor de un orificio primario en la línea de agua cruda y su flujo es, por tanto proporcional al caudal principal. Para desplazar la -- solución del dosificador, el agua se desvía alrededor de un orificio secundario en la línea menor, controlándose por medio de una válvula de aguja.

DOSIFICADOR DE CAJA DE ORIFICIO.

Es un dispositivo simple que permite aplicar una solución a flujo constante a través de un orificio sumergido y mantenido bajo un nivel constante mediante -- una válvula controlada por flotador. Usualmente se instalan dos tanques de -- almacenamiento para permitir la alimentación como uno de ellos mientras se prepara la solución en el otro. La dosis puede regularse manualmente por la abertura del orificio o automáticamente por dispositivos eléctricos de control. Una disposición diagramática de los tanques de almacenamiento y el dosificador se - muestra en la fig. 3.

DOSIFICADORES DE DECANTACION DE TUBO OSCILANTE.

Estos dosificadores (fig. 4) se emplean para alimentar soluciones químicas.

El tubo oscilante que extrae la solución, se opera bajo un ciclo de "paro y -- arranque" actuado por un mecanismo eléctrico de descenso interconectado a un --

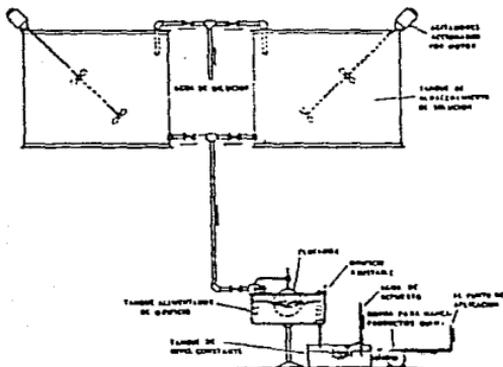


FIG. 3 DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UN DOSIFICADOR DE CAJA DE ORIFICIO PARA PRODUCTOS QUIMICOS.

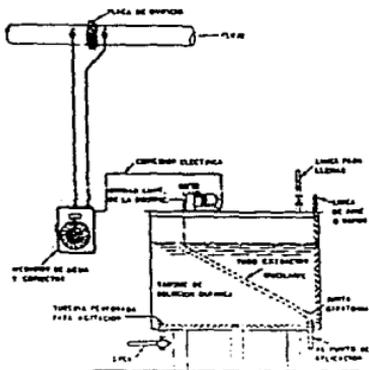


FIG. 4 DOSIFICADOR DE TUBO OSCILANTE PARA PRODUCTOS QUIMICOS.

medidor proporcionador que hace bajar el tubo. Cuando pasa por el medidor una cantidad específica de agua, un contacto eléctrico pone en movimiento - el motor que hace girar un cilindro sobre el que se encuentra enrollado un cable del que pende el tubo oscilante. Este tubo desciende una distancia - fija dependiendo del ajuste que se haya dado al mecanismo controlador de dosificación. Ya que la frecuencia de este ciclo que está gobernada por el flujo y la distancia de descenso es manualmente ajustable, es posible aumentar cualquier dosis deseada en forma precisa y proporcional al flujo de agua.

DOSIFICADORES EN SECO.

Todos los dispositivos de esta clase se clasifican como dosificadores volumétricos o gravimétricos para identificar la forma en que se controla el flujo de productos químicos. El diseño y operación de los dosificadores en seco requiere que el producto químico por alimentar sea molido o pulverizado para que pueda pasar a través del mecanismo de control y para asegurar un flujo uniforme.

DOSIFICADORES VOLUMETRICOS EN SECO.

Los dosificadores volumétricos en seco se diseñan para alimentar productos químicos en forma granular, trozos o polvo, en flujo uniforme que puede ser controlado con exactitud razonable, pero no precisa por la posición del mecanismo de ajuste. El dosificador mostrado en la fig. 5 posee una garganta oscilante que alimenta a una plataforma y mueve una charola receptora hacia adelante y atrás con cada movimiento derrama el producto químico seco al final de su carrera. La longitud de la carrera determina la relación de alimentación, se controla por medio de una unión variable con la varilla que conecta al mecanismo motriz. Una variación en la velocidad o una operación intermitente, o ambas, hacen posible regular la velocidad de alimentación en proporción al flujo del agua por tratar. Han sido empleados numerosos dispositivos, algunos basados en el principio del conductor de gusano.

La fig. 6 muestra un dosificador volumétrico en el cual el producto químico es dosificado por una banda de hule moldeado en la cual existen divisiones verticales que forman compartimientos del mismo tamaño. La velocidad de alimentación se fija mediante un mecanismo motriz de velocidad variable con límite y variación continua. Los impulsos producidos por un medidor de flujo que puede causar intermitencia en la operación proporcional al flujo de agua.

DOSIFICADORES GRAVIMETRICOS.

La fig. 7 muestra un dosificador gravimétrico del tipo de banda. El mecanismo gravimétrico de control consta de una charola vibratoria alimentada desde una tolva de almacenamiento interconstruida en la máquina, a través de una compuerta. El producto químico es dosificado de esta charola a una pequeña banda conductora operada por un mecanismo de velocidad variable. La banda está conectada y suspendida de la escala de la báscula, dependiendo la posición de la cuña del peso de material que está sobre la banda. Conforme la cuña de hule sube o baja por medio de la báscula, dentro de una pieza en forma de "V", hace variar el impacto sobre la charola alimentadora, aumentando o disminuyendo en esta forma la alimentación del producto químico a la banda. Esta acción mantiene un peso constante de producto químico sobre la banda, el cual es ajustable por modificaciones de las pesas sobre la escala de la báscula. La relación del producto químico sobre la banda, así como a la velocidad de avance de la banda, la cual fácilmente puede hacerse proporcional al flujo o mantenerse constante.

EQUIPO PARA MEZCLA DE PRODUCTOS QUIMICOS.

Después de la adición de coagulantes al agua, éste debe mezclarse rápidamente y efectivamente con el agua por tratar, antes de la floculación.

Las cámaras de mezclado se diseñan en muchas formas, dependiendo del tamaño, tipo y finalidad del sistema de tratamiento. Los siguientes medios han sido usados para efectuar esta mezcla:

- 1.- Tipo de "alrededor de los extremos" ("around the end") y en el cual se dota a un tanque rectangular de mamparas verticales que obliga al agua a fluir por un pasadizo estrecho y profundo con retornos de 180 grados en sus extremos.
- 2.- Tipo "hacia arriba y abajo" (up and down) en el cual el agua se hace fluir alternativamente hacia la superficie y posteriormente hacia el fondo de una sucesión de mamparas transversales en un canal o ducto.
- 3.- Canales de flujo recto de considerable longitud que obligan a alcanzar alta velocidad y alguna turbulencia.

- 4.- Agitación por paletas accionadas a motor dentro de tanques circulares o cuadrados.
- 5.- Combinación del sistema "alrededor de los extremos" y agitación mecánica en tanques rectangulares.

La fig. 8 muestra un sistema típico de mamparas del tipo "hacia arriba y abajo". Aún cuando estos compartimientos de mezclado, así como los tipos "alrededor de los extremos" han sido empleados y aún se utilizan en algunas plantas grandes no son tan adecuados como los "mezcladores rápidos" (Flash-mixers"), en los cuales el producto químico y el agua son rápidamente mezclados por paletas de alta velocidad operadas mecánicamente o por dispositivos similares. La fig. 9 muestra el diseño de un mezclador de alta velocidad.

El tiempo requerido para un mezclado completo dependerá de los medios disponibles. Cuando el mezclado se hace mediante compartimientos con mamparas, se suministran tiempos de retención de 5 a 20 minutos, mientras que si se emplean mezcladores rápidos el tiempo puede ser de 3 a 15 segundos.

El tiempo perdido para mezcla deberá estar gobernado por el equipo secundario de que se disponga para flocular. En general, sólo deberá darse el tiempo necesario para obtener un mezclado eficiente antes de la floculación. Si el tiempo de mezcla es demasiado largo y el flóculo se encuentra bien formado antes de la floculación, las partículas coaguladas pueden ser rotas por el mecanismo rotatorio de la cámara de floculación. Cuando esto sucede, la floculación sufre un retardo.

EQUIPO PARA FLOCULACION.

El desarrollo de flóculos grandes y densos y de asentamiento rápido es promovido por un mezclado rápido seguido de un período de movimiento a menor velocidad.

Esto permite que los flóculos de formación, partículas y material en suspensión se aglomeren y aumenten en tamaño. Prácticamente todas las plantas modernas se construyen con equipo floculador accionado por motores.

Cuando se emplean tanques sedimentadores convencionales de flujo horizontal, los floculadores se instalan en una sección anterior a la entrada de dicho tanque.

El floculador consta de un juego de paletas operadas mediante motor que giran alrededor de un eje central. La rotación puede ser en un plano vertical u horizontal, dependiendo del diseño específico usado. Pueden obtenerse varios diseños de floculadores, pero todos ellos están basados en el principio de hacer girar el agua conteniendo los flóculos con objeto de

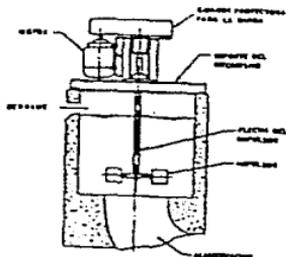


FIG. 9
DISEÑO DE UN MEZCLADOR DE ALTA VELOCIDAD.

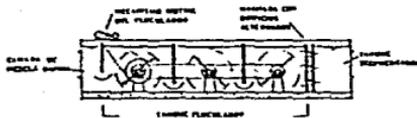


FIG. 10
MECANISMO FLOCULADOR ROTATIVO

aumentar el tamaño de las partículas, en forma similar a lo que ocurre cuando rueda una bola de nieve.

El periodo requerido para la floculación depende del diseño del equipo empleado, las características químicas del agua, así como de la cantidad y finura de la materia en suspensión arrastrada por el suministro. Generalmente se reconoce que el tiempo de floculación no deberá ser inferior a 20 minutos, ni superior a 1 hora, aún cuando los diseñadores se apartan de estos límites.

La velocidad y tamaño del floculador están gobernados por la velocidad del extremo de las paletas por las revoluciones por minuto de rotación. El tamaño y velocidad deberán ser tales que restrinjan la velocidad en el extremo de las paletas a un límite no mayor de 1.2 pies/segundo (0.37 mts/seg).

Después de su salida de este compartimiento, el agua no debe, por ningún motivo, someterse a velocidades mayores que las de floculación, ya que en otra forma generalmente puede romperse el flóculo y no volverse a formar.

La fig. 10 muestra el principio de operación de una instalación para floculado y la fig. 11 muestra una instalación típica de floculadores, mostrando la disposición de mamparas en el lado de entrada de un tanque sedimentador. Otro tipo de floculador, es el basado en el diseño de vigas móviles, en la fig. 12 se muestra un conjunto de estas unidades floculadoras instaladas en un tanque. La floculación del coágulo se obtiene mediante un recorrido ascendente y descendente similar a la acción de un balancín. Los mecanismos móviles son canales conectados, construidos con tiras de madera en forma de "V". Al moverse las unidades hacia arriba y abajo, las partículas del flóculo finamente divididas son aglomeradas y convertidas en partículas mayores, como lo efectúan las unidades rotatorias.

TANQUES DE SEDIMENTACION.

Los dispositivos para sedimentación caen dentro de dos clasificaciones especiales: 1) Tanques convencionales de sedimentación permitiendo un mínimo de retención de 2 horas (usualmente más). 2) Tanque de tratamiento de flujo rápido que proporcionan de 1 a 1½ horas de retención. El primer grupo incluye tanques de flujo horizontal; y el segundo que es para plantas relativamente pequeñas, comprende unidades redondas o cuadradas de flujo ascendente.

DISEÑO DE TANQUES CONVENCIONALES.

Se acostumbra diseñar los tanques para proporcionar un flujo rectilíneo, aún cuando pueden incluirse uno o más mamparas del tipo alrededor de los extremos para aumentar la longitud del recorrido del agua desde su entrada a la salida. Estos tanques pueden ser rectangulares, cuadrados o circulares.

El tiempo que el agua deberá ser retenida en los tanques de sedimentación, durante su recorrido desde la entrada a la salida, variará con las características del agua cruda. En promedio la mayor parte de los tanques se diseñan para 4 horas aproximadamente. Si se emplea sílice activada en forma continua, los periodos de retención pueden acortarse a causa de las altas velocidades de asentamiento de los floculos efectuadas por este coadyuvante de coagulación.

Es una buena práctica limitar las velocidades máximas de flujo a través de tanques de asentamiento a un valor no superior de 1 pie/mín (30.48 cm/mín) para la mayoría de los abastecimientos aún cuando algunos tanques son diseñados para velocidades de flujo de 2.5 pies/mín (76.2 cm/mín).

El volumen de un tanque de asentamiento común dependerá de dos factores:

Los requerimientos de tiempo de retención y el flujo de agua. La relación entre el ancho, longitud y profundidad del tanque para proporcionar el volumen necesario, en tanques rectangulares grandes, la relación de ancho a longitud, varía de 2.5 a 1. La profundidad varía de 10 a 20 pies (de 3.04 a 6.10 mts). Es indispensable remover los depósitos acumulados dentro de los tanques, ya sea en forma periódica o continua, para asegurar una clarificación satisfactoria del agua al pasar por estas unidades. La capacidad de asentamiento se disminuye si se permite la acumulación de grandes cantidades de depósitos.

Una dificultad de operación aún más seria se produce por la descomposición de depósitos orgánicos, lo que origina formación de gases.

TANQUES SEDIMENTADORES REDONDOS O CUADRADOS.

Los tanques de coagulación y sedimentación que proporcionan periodos de retención convencionales de pequeña o moderada capacidad, pueden ser cuadrados o cilindricos y con el flujo predominante ascendente en lugar de horizontal.

Es más difícil diseñar bien y operar adecuadamente estos tanques para obtener eficiencia máxima de asentamiento debido a los problemas inherentes a la coagulación de mamparas y muros divisorios, así como el control de las corrientes que pueden producirse. El influente puede entrar por un tubo de bajada situado en el centro del tanque y el efluente puede salir por un canal de derrame periférico.

TANQUES DE TRATAMIENTO DE FLUJO RAPIDO.

Se han utilizado varios diseños de tanques clarificadores en los que la remoción de sólidos suspendidos tiene lugar por efecto de una filtración ascendente a través de un lecho flotante de lodo. En otros, la clarificación se lleva a cabo por recirculación forzada y mezcla íntima de una masa coagulada preparada y flujo ascendente, dando por resultado una clarificación más efectiva de la obtenible en tanques comunes que dependen únicamente del asentamiento para la remoción de materia en suspensión.

PRECIPITADOR SPAULDING.

El principio de operación que encierra este tipo de tanque coagulador y clarificador de flujo ascendente, se muestra en la fig. 13. En esta unidad, los lodos del compartimiento central se preparan por medio de paletas floculadoras y pasan del compartimiento central al externo, en el cual se mantiene a un nivel predeterminado de lodos concentrados. El agua pasa hacia arriba a través de lecho a velocidades de flujo controladas, en donde tiene lugar la clarificación. En general, el lecho de lodos sirve como un medio filtrante que flota. Esta unidad puede efectuar un alto grado de clarificación cuando está bien diseñada. El agua, conteniendo una parte de los flóculos que no han sido asentados, pasa hacia arriba a través de una abertura anular hacia la parte externa del tanque, la que está formada por el cono central y el cono invertido externo.

ACCELERATOR.

Otro tipo de tanque de flujo rápido se muestra en la fig. 14. En este tanque los productos químicos se agregan a una porción relativamente concentrada de lodos espesos, cerca del fondo del tanque, y el agua cruda se trata con esta mezcla y se agita a una velocidad mayor. el objeto de este diseño es llevar a cabo las reacciones químicas iniciales en contacto con los lodos, de tal manera que la precipitación consista en aumentar las dimensiones de las partículas existentes, y no formarse nuevas partículas de

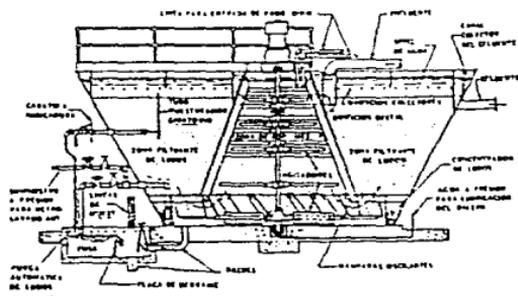


FIG. 13 TANQUE SPAULDING.

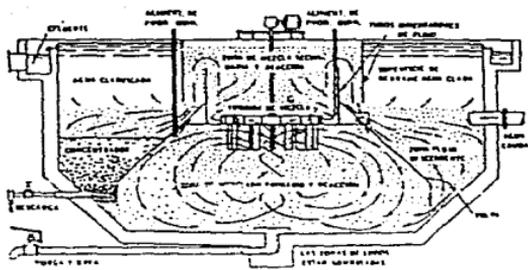


FIG. 14
TANQUE DE FLUJO RAPIDO
CON LECHO DE LODOS

tamaño inferior.

De la zona primaria de mezcla y reacción, el agua fluye en forma ascendente hacia una zona secundaria de mezclado y reacción llevando una alta concentración de lodos que son mantenidos en suspensión por la mezcla relativamente rápida. Al fluir hacia abajo de esta área, el agua libre de turbulencias entra a una sección externa de diámetro mucho mayor. El agua fluye entonces hacia arriba, lo cual permite la remoción de los flóculos por sedimentación en este compartimiento. Los lodos se asientan en un compartimiento concentrador con placas estabilizadoras diagonales que proporcionan mayor área y son removidos en forma continua.

VENTAJAS RELATIVAS DE LOS TANQUES CONVENCIONALES Y DE FLUJO RAPIDO.

- Los tanques convencionales o de flujo horizontal se adaptan mejor a suministros de agua que contienen cantidades excesivas de turbidez.
- Los tanques convencionales aseguran calidad más uniforme del agua tratada.
- Los tanques convencionales tienen costos más altos de construcción y requieren medios para remoción de lodos más elaborados.
- El diseño convencional tiene problemas de formación de hielo y crecimiento de algas mayores en comparación con los de flujo rápido.
- Los tanques de flujo rápido son menos costosos en su instalación que los convencionales.
- Los tanques de flujo rápido si se operan adecuadamente pueden remover la totalidad de sólidos suspendidos.
- Los tanques de flujo rápido tienen la facilidad de remover los lodos, lo cual se hace simplemente por la abertura de válvulas de descarga.

EQUIPO PARA FILTRACION.

FILTROS MECANICOS.

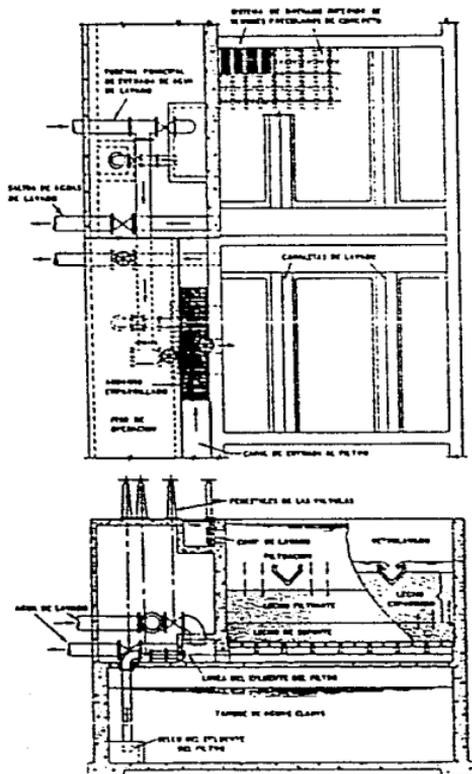
- Tipo gravedad. Los filtros rápidos pueden ser rectangulares o circulares y se construyen de madera, acero o concreto. En el fondo se encuentra un sistema de drenado inferior que recoge el agua filtrada y distribuye el agua para retrolavado. Sobre el bajo-dren se coloca una capa de piedra granulada, antracita o grava, y sobre ella de 61 a 97.4 cms. de medio filtrante. El conjunto se completa con válvulas dotadas de controladores para influente y efluente, las que mantienen un flujo uniforme de agua a través del aparato, con manómetros para medir pérdida de carga, con dispositivos para retrolavado y con canaletas para agua de lavado.

La fig. 15 muestra una vista de una unidad filtrante rectangular. El agua entra por la parte superior y pasa hacia abajo a través del lecho filtrante. El agua filtrada fluye por el sistema de drenado inferior y descarga de ahí al pozo de aguas claras o tanque de agua filtrado. Para limpiar la unidad, se detiene el proceso de filtración y se descarga agua filtrada hacia arriba por el sistema de drenado inferior a través del lecho. El material sólido colectado en la superficie del lecho se descarga a las canaletas de agua de lavado y ahí al drenaje. En algunas unidades se emplea aire para agitar el medio filtrante. Se emplea generalmente para agitación sin aire agua de lavado de alta velocidad 611.1 a 1222.2 lts/min por m². Con frecuencia se suministra un lavado de agua de lavado. Cuando la cantidad de agua de lavado disponible es insuficiente para lavar todo el lecho, éste puede lavarse por secciones, esto no se lleva a cabo excepto cuando el método normal no puede llevarse a cabo.

- Tipo de presión. Los filtros a presión son esencialmente iguales a los filtros de gravedad, con la excepción de que el material filtrante está contenido en un tanque cerrado y de que el agua es forzada a través del lecho filtrante bajo una presión relativamente alta.

Estas unidades se construyen en dos formas: verticales y horizontales. La primera es adaptable primordialmente a la filtración de pequeñas cantidades de agua y la última cuando se requieren volúmenes mayores. Estos dos tipos de filtros se muestran en las figs. 16 y 17. En algunas instalaciones, un compartimiento del cuerpo del filtro se utiliza como cámara de sedimentación. Esto tiene escaso valor, ya que el tiempo de retención del agua es tan corto que sólo permite remover pequeña cantidad de sólidos-suspendidos.

FIG. 15 FILTRO RAPIDO DE ARENA (TIPO GRAVEDAD)



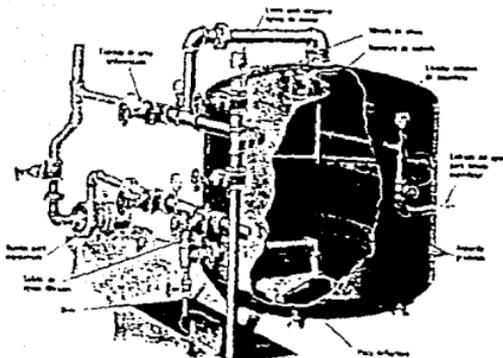


FIG. 16 FILTRO A PRESION EQUIPADO CON MECANISMO HIDRAULICO PARA LAVADO DE LA SUPERFICIE FILTRANTE.

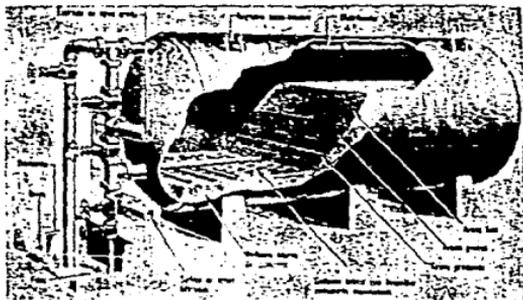


FIG. 17 FILTRO HORIZONTAL MOSTRANDO EL ARREGLO DEL SISTEMA DE DRENES INFERIORES Y MEDIO FILTRANTE.

En la operación de la mayoría de los filtros a presión, el agua entra por la parte superior de la unidad y se distribuye mediante un canal o tubo perforado y se filtra al descender a través del medio filtrante. El agua filtrada es recogida por el sistema de drenaje inferior y se descarga a través de un tubo múltiple principal. Los drenados inferiores son prácticamente iguales a los usados en unidades de gravedad.

El espesor y graduación de los lechos de grava y arena u otros medios filtrantes, varía de acuerdo con los fabricantes. Espesores de grava de 20.3 a 50.8 cms y lechos de arena de 45.7 a 74.2 cm o más, se emplean comúnmente. La mayoría de los filtros a presión se retrolavan pasando el agua hacia arriba a través del filtro a flujos de 306 a 611.1 lt/min por m².

Los filtros verticales a presión varían en tamaño de 30.48 a 304.8 cms de diámetro y de 2.44 a 7.62 m de longitud. Los tanques se diseñan para soportar las presiones de acuerdo con la presión correspondiente al suministro de agua. Es práctica común diseñar el equipo normal para soportar presiones de trabajo de 65 a 100 psi.

Los filtros horizontales no son tan satisfactorios como los verticales debido a la tendencia del lecho inferior de grava a tomar ondulaciones en forma de valles y colinas sobre la grava o piedra sobre la que descansa el medio filtrante. Cuando ocurren estas fallas, se obtiene una deficiente -- filtración

Por la instalación de mamparas verticales dentro del tanque, han sido evitados en algunos casos defectos de operación de esta clase, convirtiendo en esta forma el interior de un tanque cilíndrico en una unidad rectangular. Un dibujo ilustrado de este tipo de reconstrucción se muestra en la fig. 18.

FILTROS DE TIERRA DIATOMACEA.

Estos filtros están basados en el principio de filtrar agua a través de tubos o placas porosas, en lugar de lechos de arena, carbón de antracita u otro material. La fig. 19 muestra el corte de un filtro empleando tubos porosos operado con o sin ayuda filtrante, tal como tierra diatomácea, u -- otras formas de material filtrante.

El agua por tratarse entra al tanque y pasa a través de los cilindros porosos, - siendo conducida a continuación a la cámara de salida. La característica de operación de este tipo de unidad es diferente de la de algunos otros en el mercado, debido a que los tubos individuales se retrolavan con agua clarificada automáticamente. El lavado se efectúa por medio de una combinación de agua y aire, siendo forzada el agua a través de los tubos hacia la superficie externa por medio del aire, desplazando en esta forma los depósitos acumulados sobre la superficie de los cilindros porosos. La frecuencia de retrolavado de los tubos individuales, varía con las condiciones de operación y el ciclo completo de retrolavado se efectúa en forma automática. Este tipo de filtro tiene extensa aplicación y cuando se adapta correctamente para satisfacer las condiciones del agua cruda, - es capaz de proporcionar agua con alto grado de pureza.

En una unidad similar, el agua se filtra a través de cilindros porosos cubiertos con una pasta de tierra diatomácea y fibras de asbesto, que se aplican al agua - al entrar a la unidad. El agua con su dosis de ayuda filtrante pasa por el compartimento de agua cruda y sirve de vehículo para depositarla en la superficie - de las placas. Este material actúa por lo tanto, como medio filtrante, efectuando la clarificación deseada. La pasta de diatomáceas debe ser removida de tiempo en tiempo mediante retrolavado. La remoción de la precapa depositada, o torta del filtro, de los elementos filtrantes se efectúa al crear una presión en -- ambos lados de dichos elementos. Esto se obtiene al cerrar la válvula de entrada de agua. A continuación de esta operación, la presión es bruscamente reducida en el lado externo del elemento al abrir la válvula de agua de retrolavado que produce flujo rápido a través del elemento y por lo tanto desplaza los depósitos acumulados del material de precapa. La torta desalojada cae al fondo del filtro y se elimina de la unidad mediante un tubo del tanque situado sobre de la válvula de drenaje de retrolavado, que descarga al drenaje. Este tipo de unidad es - eficiente para remoción de aceite y otros servicios especiales requeridos para - el acondicionamiento de agua de alimentación a calderas y para procesos industriales.

3.3.5 DIFERENTES ALTERNATIVAS.

Proponemos 2 secuencias a seguir para cumplir con nuestro objetivo.

SECUENCIA 1.

Para la secuencia 1 proponemos un tratamiento primario, y uno secundario.

El tratamiento primario comprende:

- Tamizado
- Sedimentación
- Filtración

El tratamiento secundario comprende:

- Coagulación
- floculación
- Sedimentación
- Filtración
- Cloración

Para la secuencia 2 proponemos lo siguiente:

- Tamizado
- Sedimentación
- Coagulación
- Floculación
- Sedimentación
- Cloración

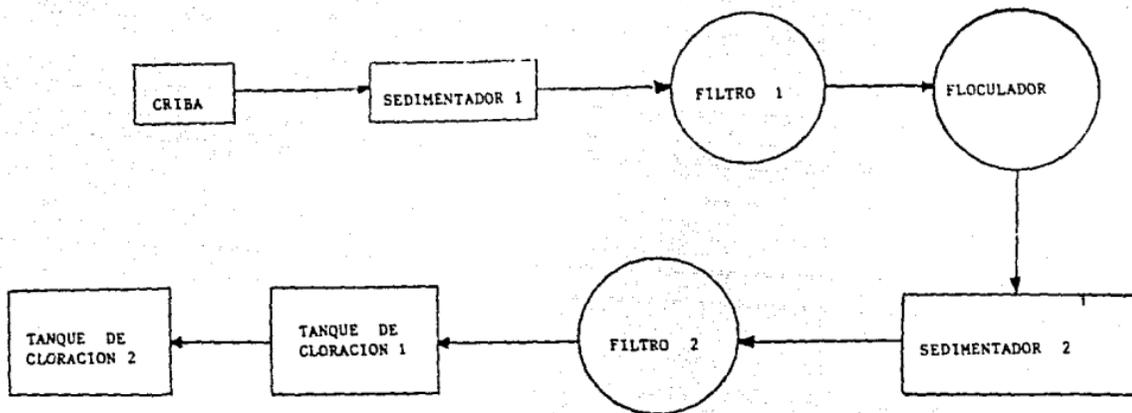
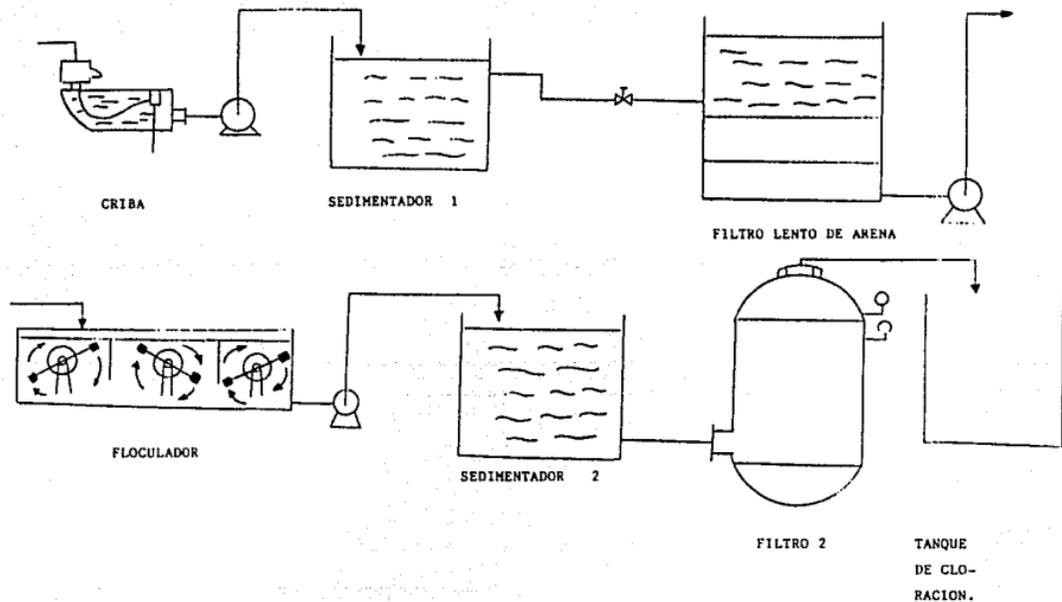


DIAGRAMA DE BLOQUES SECUENCIA 1



-57 b-

DIAGRAMA DE FLUJO SECUENCIA 1

CAUDAL = 47 000 m³ POR DIA

<u>Equipo</u>	<u>Capacidad</u>
Filtro 1	11 000 m ³
Sedimentador 1	10 000 m ³
Filtro 2	11 000 m ³
Sedimentador 2	10 000 m ³
Floculador	10 000 m ³
Tanque Clorador	10 000 m ³

COSTOS DE EQUIPO

MAYOR

SECUENCIA 1

<u>EQUIPO</u>	<u>COSTO (Miles de Miles)</u>
CRIBA	5 000
SEDIMENTADOR 1	35 000
FILTRO 1	40 000
DOSIFICADOR	20 000
FLOCULADOR	90 000
SEDIMENTADOR 2	35 000
FILTRO 2	50 000
TANQUE DE CLORACION	<u>40 000</u>
TOTAL	315 000

SECUENCIA 2

CRIBA	5 000
SEDIMENTADOR 1	35 000
FLOCULADOR	90 000
DOSIFICADOR	20 000
SEDIMENTADOR 2	35 000
TANQUE DE CLORACION	<u>40 000</u>
TOTAL	235 000

CAPITULO IV

TRATAMIENTOS PROPUESTOS PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

4.1 COAGULACION QUIMICA Y FLOCULACION.

Han existido muchos conceptos para explicar la formación o inhibición de la floculación química tal como se practica en los procesos de acondicionamiento de agua. Se han fraccionado en dos clasificaciones principales - que son:

1.- LOS DE PROTEGEL.

El concepto del protegél, se ha sugerido que tanto el agua como las impurezas se encuentran, en un momento dado, dentro de una red de tipo fibrilar. Cuando ésta se rompe y se compacta por las diferencias de presión creadas en el acondicionamiento del flóculo, el agua debe - pasar al exterior a través de los intersticios. Como la partícula de flóculo primeramente disminuye en tamaño y densidad aparente, los poros se hacen cada vez menores hasta que alcanza un tamaño tal que la viscosidad de agua suministra una resistencia al flujo que contrarresta la tendencia del flóculo al encogimiento. El crecimiento en este punto hacia flóculos mayores proporcionará mayor rigidez y mejores características de sedimentación, las cuales se pueden alcanzar bajo estas condiciones de formación. A bajas temperaturas y con alta viscosidad de agua, se alcanzará equilibrio con menos deshidratación del flóculo y habrá, entonces, menor rigidez y una sedimentación más pobre.

2.- LOS CONCEPTOS MECANISTICOS.

En relación con las teorías mecanísticas de la formación del flóculo es de reconocerse que un balance coloidal tiene significado máximo. En un tratamiento matemático, Camp y Stein han supuesto que dos partículas en una corriente de fluido chocarán necesariamente si los cálculos indican que ellas pueden colocarse dentro de una distancia -- igual a la mitad de la suma de sus dos diámetros.

Tales cálculos pueden verificarse para materiales inertes, pero no para partículas coloidales cargadas eléctricamente, las cuales, con frecuencia constituyen flóculos. Aunque con cargas grandemente reducidas en las partículas, se puede esperar la existencia de alguna orientación, más que una disposición errática. La explicación que da la química coloidal sobre la formación de flóculos es muy complicada para

dar una discusión detallada en esta ocasión, pero puede decirse razonablemente que es importante en la comprensión del mecanismo de formación de flocúlos, así como de importancia práctica el encontrar problemas de coagulación difícil.

Independientemente del concepto que se acepte, la experiencia ha demostrado que se obtiene una coagulación satisfactoria con eficiencia máxima de sedimentación, solamente cuando todas las partículas contenidas en el agua, independientemente de su condición física o química, están aglomeradas formando masas relativamente grandes con gravedad específica suficientemente alta para causar su deposición en un período corto. Para alcanzar esta condición favorable, la selección y dosis de coagulante químico y la estructura del flocúlo deberán ser tales que se realice una clarificación satisfactoria.

COAGULACION DE COLOIDES.

La mayoría de las aguas pueden ser clarificadas por la adición de alumbre u otros materiales coagulantes, seguida de sedimentación, durante un corto período que dura de 2 a 4 hrs. Sin embargo, la efectividad de la clarificación se retarda por algunas condiciones que tienden a inhibir la aglomeración de los sólidos suspendidos, dando por resultado una clarificación-deficiente.

Un coloide es una sustancia que se encuentra en estado de división suficiente para formar una suspensión relativamente permanente. Nos encontramos fundamentalmente en contacto con suspensiones de arcilla, sílice, materiales orgánicos y algunos otros componentes de finura tal que resisten completamente su remoción por sedimentación o que se asientan sólo al cabo de largo tiempo. Al disminuir el tamaño de las partículas en suspensión, disminuye también su velocidad de asentamiento. La tabla 1 muestra una aproximación de las velocidades relativas de asentamiento de esferas, y en general puede decirse que existe un estado coloidal cuando el efecto de la gravedad no es suficiente para contrarrestar los efectos producidos por la influencia de otros factores. Aún cuando no hay una línea fija de delimitación basada exclusivamente en magnitud, los siguientes límites se dan como una clasificación aproximada de la materia contenida en un líquido:

TABLA 1 EFECTO PROGRESIVO DEL TAMAÑO
DECRECIENTE DE ESFERAS

Diámetro de las partículas, mm.	Orden de tamaños	Número de esferas requerido para ocupar un volumen equivalente al de una esfera de 10 mm de diámetro.	Área superficial total.	Tiempo requerido para que una esfera de 2.65 gr-sp se sedimente-30.48 cm.
10	Grava	1	3.14 cm ²	0.3 seg.
1	Arena gruesa	1 000	31.41 cm ²	3 seg.
0.1	Arena fina	1 x 10 ⁶	314.16 cm ²	38 seg.
0.01	Limo	1 x 10 ⁹	0.3141 m ²	33 seg.
0.001	Bacterias	1 x 10 ¹²	3.1416 m ²	55 seg.
0.0001		1 x 10 ¹⁵	3.177 m ²	230 días
0.00001	Partículas	1 x 10 ¹⁸	2832.8 m ²	6.3 años
0.000001	Coloidales	1 x 10 ²¹	28328.1 m ²	63 años mínimo

Suspensiones, partículas mayores de 0.0001 mm.

Soluciones coloidales (hidrosoles), de 0.000001 a 0.0001 mm.

Moléculas de cristaloides, partículas menores de 0.000001 mm.

Las partículas coloidales se encuentran cargadas eléctricamente y éste es uno de los principales factores que contribuyen a su permanencia en estado de fina división. Se ha dado, por tanto, como una razón del porque la sedimentación de tales partículas es relativamente difícil llevar a cabo.

A causa de que ellas tienen cargas eléctricamente similares, las partículas se repelen mutuamente, y por ello, permanecen en estado de fina subdivisión hasta que las cargas se neutralicen.

Es aparente que las condiciones coloidales están controladas extensamente por fenómenos de superficie. Consecuentemente, la química de los coloides es propiamente una cuestión de reacciones de superficie que no necesariamente deben proceder con apego al aspecto estequiométrico.

Es más adecuado caracterizar los coloides por cierto comportamiento típico que por límites en la magnitud de las partículas. Se ha hecho referencia a la lentitud con que las suspensiones coloidales se sedimentan, la cual es su característica más obvia. Cuando se filtra una muestra de agua para calderas para su análisis químico, persiste en permanecer turbia; la materia suspendida puede para fines prácticos, ser considerada como coloidal. Los coloides resisten los métodos ordinarios de filtración.

La resistencia de las partículas coloidales a la aglomeración y asentamiento subsecuente, se intensifica por la presencia de agentes "peptizantes". La peptización comprende la desintegración de agregados coloidales por la absorción de un agente peptizante en la superficie de las partículas. Los líquidos, solutos iónicos o electrolitos, no electrolitos, y materiales coloidales pueden servir como agentes para peptizar a varios sólidos, un coloide que peptiza a otro agregado coloidal se denomina un coloide protector. Para esta discusión, los agentes peptizantes de importancia son los electrolitos y coloides protectores; las soluciones coloidales con que se trabaja se denominan "soles".

La coagulación de un coloide es simplemente el reverso de una peptización y se lleva a cabo removiendo o neutralizando el material estabilizador. En el caso de sales de arcilla las partículas arcillosas cargadas negativamente, pueden ser coaguladas si se les hace absorber iones cargados positivamente como, por ejemplo, los iones de aluminio aportados por la adición de alumbre (sulfato de aluminio). Cuando la absorción de iones positivos balancea exactamente las cargas negativas, las partículas se vuelven neutras, y se dice entonces que el sol se encuentra en condición isoelectrica. Las partículas de arcilla tenderán a aglomerarse por la ausencia de fuerzas oponentes y entonces se precipitarán. En un sol de una composición particular, la precipitación ocurrirá a una concentración muy bien definida de iones hidrógeno, la cual está indicada por el valor del pH. El pH de precipitación máxima depende de la composición del sol. Se encuentra en un fluido por las concentraciones y características de los distintos iones existentes en el sol.

Un fenómeno paralelo entrañando coloides aún más finamente divididos es la remoción de color del agua. El color, es debido a una suspensión coloidal de taninos y otros materiales de origen vegetal usualmente encontrados en agua de pantanos. La neutralización por medio de iones trivalentes de aluminio o hierro debe ser completa, y la demanda de coagulantes es bien definida y puede llegar a ser alta, desde 4 hasta 6 granos por galón (68.4-102.6 ppm). El problema de soluciones coloidales y su reacción es frecuentemente complejo y el comportamiento coloidal en la purificación de agua o en otras partes es mucho más complejo que la explicación simplificada antes descrita. Existe generalmente una gran variedad de iones y moléculas no disociadas incluyendo formas hidratadas y anhidras de la misma sustancia y asociaciones de dos o más moléculas, iones, etc. Así mismo deben removerse del agua concentraciones considerables de sólidos suspendidos que generalmente son de dimensiones superiores a las coloidales. Sin embargo los fenómenos asociados al comportamiento de los coloides existen también en cada uno de estos casos hasta un grado que depende de la finura de las partículas. Consecuentemente, el tratamiento de aguas se encuentra adecuadamente guiado por consideración de la química coloidal.

Cuando se adicionan ciertas sales metálicas solubles a aguas natural - mente alcalinas, o artificialmente acondicionadas que contienen materia sus - pendida y coloidal, se desarrollan cambios físicos y químicos y se producen sustancias gelatinosas. Este fenómeno se denomina coagulación ó flocula - ción. Cuando el flóculo o coágulo se forma inicialmente se encuentra en un fino grado de subdivisión, pero debido a la estructura y naturaleza de las partículas, se aglomeran y atrapan u ocuyen otros sólidos suspendidos en el agua formando así cuerpos relativamente mayores. Se ha tratado de des - cribir la estructura de estos coágulos y la han designado como "esponjosa", "red de malla abierta", gelatinosa, etc.. Es difícil proporcionar una des - cripción exacta, aunque en aspecto y estructura los coagulos semejan espon - jas de intersticios amplios.

La función primordial del coagulante consiste en suministrar iones - fuertemente cargados capaces de neutralizar efectivamente las cargas eléc - tricas de la mayor parte del material coloidal existente en el agua y cau - sar su precipitación.

Adicionalmente, el producto químico coagulante soluble, también sufre - reacciones químicas bastante complicada con varios compuestos definidos - presentes o adicionados al agua. Estas reacciones producen otros compues - tos insolubles en forma de partículas diminutas cargadas eléctricamente.

Estos compuestos acarrear la precipitación de una porción adicional de - la materia coloidal. El material así precipitado, aglomera para formar los coágulos o flóculos gelatinosos anteriormente descritos.

El valor de los coagulantes es debido, en parte, a las propiedades es - ponjosas del flóculo, ya que este tipo de estructura posee áreas superficia - les a las que se adhieren las partículas coloidales o semicoloidales. La adición de coagulantes al agua cumple dos funciones: acelera el asenta - miento de materia en suspensión y permite velocidades de filtración más altas no obtenibles con éxito por otros métodos. Cuando el agua ha sido coa - gulada y asentada pasa por arena u otros materiales filtrantes, el material coagulante remanente en el agua es detenido y forma una capa gelatinosa so - bre la superficie del medio filtrante. Debido a la estructura esponjosa - del flóculo, el agua pasa a través de él, pero el material suspendido es en - globado y retenido. Aún cuando muchos materiales son capaces de coagular -

los sólidos contenidos en el agua. los más extensamente usados son las sales de aluminio y hierro. Otros coagulantes empleados son el alumbre de amonio y potasio, sulfato férrico clorado, aluminato de sodio, silice activa da, bentonitas, almidones procesados y otros varios compuestos.

FLOCULACION.

La floculación se lleva a cabo generalmente como una etapa previa a la filtración al efectuar el acondicionamiento de aguas. La secuencia completa de las operaciones básicas para la remoción de turbidez, color y otras materias orgánicas en la preparación del agua para su filtrado es:

- 1) Adición de Productos Químicos
- 2) Mezcla rápida
- 3) Floculación
- 4) Sedimentación

4.1.1 TIPOS DE COAGULANTES.

ALUMBRERES DE AMONIO Y POTASIO.

Estos coagulantes no se utilizan extensamente en grandes plantas de tratamiento, pero se emplean principalmente en "tanques de alumbre" (Alum-Pots), en los que el coagulante se disuelve en un tanque a presión y la solución así formada se inyecta al agua por tratar. Este tipo de equipo se emplea en la operación de filtros a presión. El alumbre de filtros, debido a su baja solubilidad y otras características, no se adapta convenientemente a su uso en dosificadores de tanques a presión.

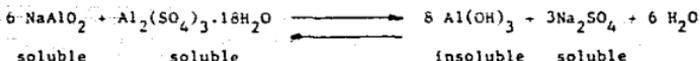
ALUMINATO DE SODIO.

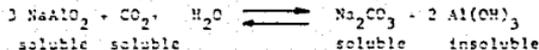
El aluminato de sodio se emplea con regularidad como coagulante. Este material se vende en forma líquida o como polvo.

Morse, Hechmer y Powell, han encontrado que el aluminato de sodio es útil coadyuvante para coagular ciertos sólidos suspendidos cuando se aplica junto con sulfato de aluminio. Este tipo de coagulante se ha usado extensamente como un reactivo suplementario en el proceso de ablandamiento de agua para aglomerar sólidos suspendidos finamente divididos y también para ablandamiento, produciendo una dureza residual inferior en algunos casos que la que puede obtenerse por un tratamiento con cal y carbonato de sodio exclusivamente. Tiene también el mérito de reducir el contenido de sílice de algunas aguas.

El aluminato de sodio contiene aproximadamente 88% de NaAlO_2 siendo el resto de los constituyentes presentes sales de sodio, principalmente carbonato e hidróxido sódico. El exceso de álcalis se usa para mantener el aluminio en solución. Este compuesto químico se ha empleado en compuestos para tratamiento de calderas de baja presión. El producto seco es delicuescente, de modo que deberá guardarse en recipientes cerrados hasta que sea empleado. Pesa entre 50 y 60 libras/pie³ (801 a 961 Kg/m³).

Las reacciones químicas del sulfato de aluminio y el aluminato de sodio al agregarse agua, son:





El flóculo es similar al producido por el sulfato de aluminio cuando se emplea solo, pero el material tiene una reacción alcalina mientras que el sulfato de aluminio es un coagulante ácido. Es a causa de esta diferencia que el aluminato de sodio tiene una aplicación especial para el tratamiento de ciertas aguas.

COAGULANTES DE HIERRO.

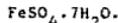
Los compuestos de hierro en tratamiento de aguas incluyen varias de las sales ferrosas y férricas solubles. La más simple de las reacciones que experimentan tanto los coagulantes ferrosos como férricos, muestran que en cada caso el compuesto insoluble en última instancia es hidróxido férrico, Fe(OH)_3 .

Una ventaja que poseen los coagulantes de hierro sobre el alumbre es el amplio margen de valores de pH dentro de los cuales se precipitan los compuestos de hierro. En estudios sobre la formación de flóculo mediante coagulante férrico, realizados por Bartow, Balck y Sansbury, se ha demostrado que el punto de coagulación óptima puede ser tan bajo como un pH de 3.8 en el caso de aguas de pantano altamente coloridas o puede encontrarse arriba de 8.0 para otros tipos de agua. En ocasiones, el margen de pH dentro del que puede formarse rápidamente un buen flóculo, es relativamente estrecho y el pH del agua debe ser cuidadosamente controlado. La zona de coagulación depende de las concentraciones de los diferentes iones presentes en el agua la temperatura, las condiciones favorables para la coagulación y otros factores.

Las curvas de la fig. A, muestran el grado de extensión alcanzado en la floculación de aguas naturales con hierro férrico y manganeso observado por Powell y Weston. Estos datos muestran el amplio margen de precipitación del hierro y manganeso en una serie de aguas naturales.

SULFATO FERROSO.

El sulfato ferroso se emplea para clarificar agua muy turbia, a este material se le conoce como "copperas" en lenguaje inglés y tiene la fórmula:



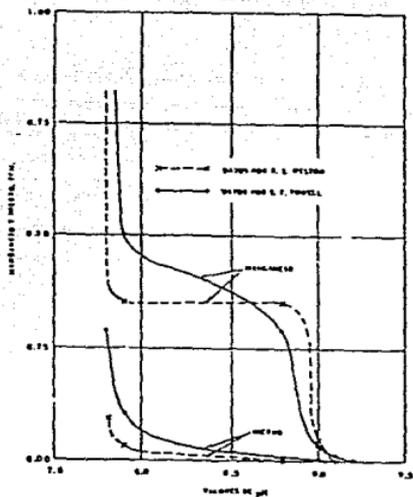
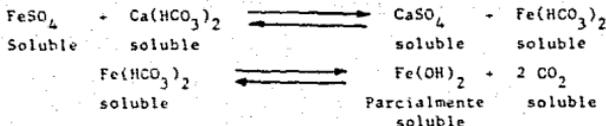
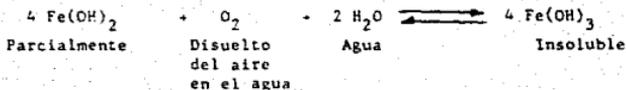


FIG. A
 CURVAS QUE MUESTRAN LA REMOCION DE MAGNESIO
 Y HIERRO A DIFERENTES VALORES DE PH EN EL
 AGUA TRATADA.

Similarmente al sulfato de aluminio reacciona con la alcalinidad natural del agua para formar flóculos. Sin embargo el flóculo inicialmente formado es un compuesto relativamente soluble, hidróxido ferroso, $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Las reacciones por las que este compuesto se forma son las siguientes:



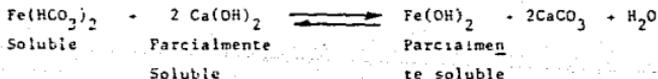
El hidróxido ferroso bajo ciertas condiciones es fácilmente oxidado a hidróxido férrico, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, el cual es un compuesto muy insoluble. La siguiente ecuación ilustra la reacción:



La oxidación del hidróxido ferroso a la formación férrica se obtiene en forma relativamente rápida por efecto del oxígeno disuelto en el agua y la velocidad con que tiene lugar se incrementa rápidamente por aereación.

La cantidad de oxígeno requerido para convertir hidróxido ferroso a férrico es 0.03 partes de oxígeno, O_2 , por una parte de "copperas", $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Aunque el sulfato ferroso producirá flóculos de acuerdo con reacciones anteriores al reaccionar con la alcalinidad y el oxígeno normalmente presente en el agua, los resultados a menudo son pocos satisfactorios. Tales resultados se deben generalmente a la presencia de bióxido de carbono y a su efecto sobre la solubilidad del hidróxido ferroso. Para contrarrestar este inconveniente, el coagulante se aplica usualmente en combinación con cal hidratada. Este último compuesto neutraliza el bióxido de carbono presente en el agua, así como el resultante de la reacción entre el coagulante y la alcalinidad del agua. Efectivamente, la reacción mediante la cual se forma el hidróxido ferroso es:



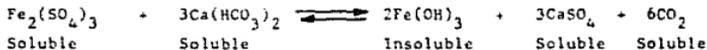
Una ventaja adicional resultante de la adición de cal con el coagulante proviene del incremento resultante en el valor del pH del agua. El va -

lor más alto en el pH favorece a la oxidación de hidróxido ferroso a hidróxido férrico.

SULFATO FERRICO.

Este coagulante reacciona con la alcalinidad natural del agua para formar hidróxido férrico insoluble, y, por tanto, no requiere la adición de cal hidratada para completar la reacción.

La reacción química que tiene lugar cuando se agrega sulfato férrico a una agua que contiene alcalinidad cálcica es la siguiente:



Las soluciones de sulfato férrico son corrosivas y requieren equipo resistente al ácido para su disolución y aplicación al agua. Usualmente se utilizan tanques y equipos recubiertos con hule, plomo, o construidos con acero inoxidable o "Duriron".

Es importante controlar la relación del producto químico al agua empleada para preparar la solución con objeto de eliminar depósitos insolubles duros en los tanques. El sulfato férrico forma un hidrato, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, el cual se solidifica rápidamente en forma similar al yeso. Este cuerpo no se solubiliza rápidamente en el agua fría. El uso de dos o cuatro partes de agua en peso por una parte de sulfato férrico elimina la formación del hidrato duro y conserva el calor de solución para favorecer la disolución. La práctica más conveniente es alimentar agua caliente en forma proporcional al flujo de coagulante seco.

El sulfato férrico puede aplicarse mediante máquinas alimentadoras en seco y en esta forma el producto no es corrosivo. Algunos compuestos férricos son altamente delicuescentes pero algunos grados son tratados con un material inerte que recubre los granos, inhibiendo en esta forma la absorción de humedad.

CLORURO FERRICO Y SULFATO FERROSO CLORADO.

Estos compuestos férricos han sido conocidos y empleados durante muchos años para la coagulación de lodos de aguas negras y hasta cierto límite, para el tratamiento de algunos suministros de agua usados para fines sanitarios e industriales. El cloruro férrico $\text{FeCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, se emplea extensamente en tratamientos de aguas negras para mejorar el asentamiento y filtrabilidad de lodos, pero su uso para clarificación de aguas no es extenso.

Sin embargo, el cloruro férrico es ventajoso para obtener coagulación a un pH bajo. Miller ha encontrado que puede obtenerse una coagulación satisfactoria a un pH de 5.0. El cloruro férrico es muy corrosivo, requiriendo equipo especial resistente al ácido para almacenamiento y alimentación de su solución.

SILICE ACTIVADA.

Aún cuando muchos investigadores han reconocido las propiedades coagulantes de ciertas formas de sílice, su valor práctico y su preparación como ayuda para la coagulación de aguas turbias, fue inicialmente establecido científicamente por Baylis. Existe un proceso de preparación de un silice activada el cual, al ser agregado al agua, mejoraba las características de asentamiento de los sólidos coagulados.

COAGULANTES MISCELANEOS.

Muchos materiales tanto orgánicos como inorgánicos, además de compuestos de hierro y aluminio y sílice activada, han sido empleados para coagular sólidos y aumentar la velocidad del asentamiento. Ya sea empleados en forma simple o una combinación con otros materiales. Se han encontrado que las arcillas, bentonita, carbón activado, almidones caustificados, y otros compuestos son útiles en el tratamiento de algunos suministros. En adición se ha dicho que productos como la etilcelulosa y otros compuestos similares ayudan a otros coagulantes cuando se emplea en dosis relativamente minúsculas.

COAGULANTES POLIMERICOS SINTETICOS.

Hasta la introducción de los materiales sintéticos llamados "polielectrolitos", no existía un competido para la sílice activada. Debido a estos compuestos tienen características tanto de polímero como de electrolito, fueron denominados "electrolitos poliméricos" o "polielectrolitos". También se usa el término de "floculante polimérico".

Los polímeros sintéticos producidos son en todo análogos a los biocoloides de origen natural. Todos estos compuestos contienen unidades repetitivas de bajo peso molecular, combinadas químicamente para formar una molécula de tamaño coloidal, llevando cada unidad repetitiva una ó más cargas eléctricas o grupos ionizables.

La ventaja de la molécula sintética sobre la natural es que aquella - puede ser diseñada para requerimientos específicos. Esto se ha hecho usando varias unidades de monómeros con diferentes grupos de ionización y copolimerizando estos materiales para formar diversos compuestos.

Se clasifican de acuerdo a la carga en la cadena polimérica en "aniónicos" a los que poseen una carga negativa, en "catiónicos", los que están - cargados positivamente y en "no iónicos" a los que no presentan carga eléctrica.

La mayor parte en el uso de los polielectrolitos es el aumento en el - tamaño del floculo, lo que trae consigo un aumento en la velocidad de asentamiento del mismo.

En general, los polielectrolitos aniónicos se comportan como auxiliares de coagulación modificando las características del floculo producido -- por los coagulantes de aluminio o hierro. Muchas pruebas han demostrado -- que la efectividad de los polielectrolitos aniónicos es casi independiente del pH, la alcalinidad, la dureza o la turbidez. Sin embargo la dosis óptima se incrementa en forma lineal con la dosis del sulfato de aluminio.

Los polielectrolitos catiónicos, pueden trabajar como coagulantes sin - adicionar coagulante metálico, aunque ésto resulta normalmente en elevada - turbidez residual. Al usarlos con los coagulantes, los polielectrolitos - catiónicos presentan las siguientes ventajas:

- 1.- Pueden reducir la demanda de alumbre o hierro.
- 2.- Pueden reducir la interferencia que ocasionan sustancias como la lignina y el tripolifosfato de sodio.
- 3.- Flocular organismos vivos tales como algas y bacterias.

COMPUESTOS DE ALUMINIO.

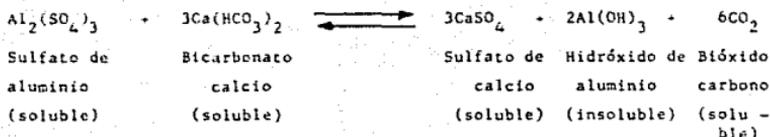
El sulfato de aluminio (alumbre de filtros) se usa más extensamente en tratamientos de agua de cualquier otro coagulante hasta ahora conocido. Es necesario el conocimiento de algunas reacciones importantes de este proceso para el acondicionamiento de aguas.

ALUMBRE DE FILTROS.

Quando se agrega una solución de sulfato de aluminio a un agua natural pueden ocurrir una o más reacciones químicas. La composición de la sustancia floculante dependerá de la alcalinidad o acidez relativa del agua. Si

el agua se encuentra cercana al punto neutro (con indicador de anaranjado - de metilo) el flóculo tendrá una composición probable de $5 \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SO}_3$, pero cuando el agua es suficientemente alcalina para dar una reacción rosa con indicador de fenolftaleína, se forma hidróxido de aluminio, $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Si la alcalinidad del agua se debe a bicarbonato de calcio, se llevará a cabo la siguiente reacción:



Cuando la alcalinidad es debida a sales de sodio en vez de sales de calcio, como en las reacciones anteriores, se formará sulfato de sodio en lugar de sulfato de calcio. Se producirá una reacción similar con el bicarbonato de magnesio.

El alumbre en la forma que generalmente se usa tiene una fórmula química de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ y puede obtenerse en forma ácida o básica. El producto puro contiene 15.3% de óxido de aluminio. El alumbre se aplica al agua mediante una variedad de equipos, ya sea en forma seca o después de disuelto.

Cuando se incorpora en solución, se prepara una solución base (concentrado) y se dosifica mediante un dispositivo medidor en proporción al volumen de agua que requiere el tratamiento.

Aún cuando el alumbre es bastante soluble, es preferible calentar el agua para disolver este producto y agitarla con objeto de acelerar su disolución.

De acuerdo a los comentarios de las papeleras visitadas, acerca de los mejores coagulantes, se ha llegado a la conclusión de que actualmente los mejores son alumbre (sulfato de aluminio) y los coagulantes poliméricos.

A continuación se presentan los costos aproximados y cantidades usadas aproximadas de cada uno de estos coagulantes.

	<u>Costos aproximados/Kg.</u>	<u>Cantidad usada aproximada/Kg.</u>
Alumbre	2 500	80
Coagulantes Poliméricos.	10 000	3

4.1.2 EFECTO DEL PH SOBRE LA COAGULACION.

La cantidad de coagulante requerida para efectuar una buena coagulación varía con la naturaleza y cantidades de sólidos suspendidos y en solución -- contenidos en el agua. Se ha probado que la acidez del agua, medida por la concentración de iones hidrógeno de la mezcla final de alumbre y agua, es de gran importancia en la producción de flóculos.

Aún cuando bajo condiciones controladas se puede obtener floculación máxima con alumbre a un pH de 5.5, existen factores que pueden acarrear ciertas desviaciones de este punto. Además, una floculación máxima no asegura la solubilidad mínima de los iones residuales que permanecen en el agua tratada.

Los investigadores han reportado que la cantidad mínima de aluminio residual ocurrió en el agua investigada aproximadamente a un pH de 6.3, mientras que el mínimo de hierro residual en otras aguas se encontró un valor menor de pH de 5.4. Ellos también mostraron que existen dos márgenes de pH -- en los que el hierro precipita. En adición al residual mínimo a un pH de -- 5.4 se encontró la existencia de otro mínimo en la región de valores de pH alcalino.

Hopkins ha demostrado que este último mínimo se encuentra en el intervalo de pH de 9.4 a 13.

4.1.3 EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA COAGULACION.

Es un hecho conocido que la efectividad de la coagulación y la velocidad de formación del flóculo están influidos grandemente por la temperatura del agua. Conforme disminuye la temperatura del agua, debe aumentarse la dosis de productos químicos usados para coagular con objeto de asegurar la formación de flóculos adecuados. El efecto desfavorable de la baja temperatura sobre la formación del flóculo puede disminuirse mediante un diseño adecuado del equipo con respecto a un mezclado eficiente previo a una floculación apropiada.

Generalmente se requieren más productos químicos con agua fría que con aguas más calientes. En una gráfica de Temperatura contra demanda de productos químicos, las curvas indicaran el efecto de la temperatura sobre la demanda de productos químicos y también la variación en tratamientos requerida por aguas conteniendo sólidos suspendidos gruesos, medios y finamente divididos.

4.2 SEDIMENTACION.

La sedimentación sigue a la coagulación y floculación, primariamente para -- disminuir la carga en los filtros de arena. La filtración es la etapa final de la remoción física de las "impurezas" del agua. Es seguro que se puede -- producir un efluente satisfactorio del filtro, mediante una coagulación efi-- caz, sin emplear la sedimentación, pero los filtros se taponarían muy rápida-- mente y los costos de operación serían tan altos que el proceso no sería prác-- tico.

Por lo general, un tanque de sedimentación es una estructura a través de la -- cual fluye el agua a tan baja velocidad que el material suspendido caerá depo-- sitándose en el fondo del tanque, saliendo de éste un agua relativamente -- clara. Es obvio, que para una cierta capacidad de una planta de tratamiento , la proporción de material suspendido que se elimine será mayor mientras más -- grande sea el tanque de sedimentación.

La determinación de las dimensiones que debe tener un tanque para lograr una -- buena sedimentación es un problema muy complejo. Para complicar aún más el -- asunto, podría argumentarse que un tanque de sedimentación que elimine mejor -- al material suspendido, no es necesariamente el más adecuado, por que debe -- depositarse algo del floculo en la superficie del filtro para que éste opere -- satisfactoriamente. Sin embargo, se tiende generalmente a obtener una coagula-- ción y clarificación completa, hasta donde sea posible, ya que se logre por el diseño o por detalles de operación. Generalmente se especifican períodos de -- retención de tres a seis horas y velocidades horizontales menores de 0.90m -- por minuto.

Probablemente los factores de operación más importantes de un tanque de sedi-- mentación son: 1) que el agua al entrar en el tanque provoque la mínima turbu-- lencia; 2) el impedir corrientes en corto circuito o directa entre la entra-- da y la salida, y 3) que el efluente salga sin provocar disturbios para que -- no arrastre hacia afuera del tanque el material sedimentado . Con mucha -- frecuencia puede modificarse apropiadamente un tanque que no funcione correct-- mente, haciendo cambios en los dispositivos de entrada y salida, o instalando -- tanques desviadores para mejorar cualquiera de las funciones antes mencionadas.

4.3 FILTRACION.

La remoción de sólidos suspendidos, al pasar el agua a través de un medio poroso, es principalmente una acción mecánica. Muchas partículas no pasan por los intersticios del filtro a causa de su tamaño. Esta acción sola, sin embargo, puede no dar una clarificación completa. Los sólidos finamente divididos son -- sólo eliminados por la formación de películas gelatinosas alrededor de los granos del medio filtrante. En algunos filtros, este recubrimiento de los granos de arena se obtienen por una acción biológica; la cual es más acentuada en filtros lentos de arena, en los cuales se forma una capa limosa, técnicamente llamada Schmutzdecke sobre la superficie del lecho filtrante. La resistencia de la capa a la rotura se debe usualmente a su relación con organismos microscópicos. La masa reticular que ellos forman ayuda a la clarificación. También pueden formarse flóculos mediante varios productos químicos para crear un Schmutzdecke artificial.

La profundidad a la cual los sólidos penetren en el lecho de arena, depende, en gran parte, del flujo de filtración, el grado de pretratamiento, así como de -- las dimensiones y graduación del medio filtrante. Conforme pasa el tiempo, -- aumenta la eficiencia de un filtro operado adecuadamente. La materia floculada llena los espacios vacíos del lecho filtrante y la capa artificial produce intersticios más finos y ayuda tanto a la remoción de los sólidos suspendidos. Se ha intentado disminuir el área de filtración aumentando la velocidad de filtración al tratar aguas turbias, sin que ocurra una obturación subsuperficial -- de los lechos. Esto no dio buenos resultados sino hasta que se descubrió la -- importancia de la coagulación. Se encontró que el material coagulado o flóculo -- es suficientemente grueso para ser retenido por los granos de arena más -- grandes, y que la "película" producida por la acumulación del flóculo elimina -- eficazmente las bacterias y los sólidos finos suspendidos, que originalmente no fueron retenidos a media que se formaba el flóculo.

4.4 EQUIPO.

El equipo que proponemos usar es el siguiente:

- Para el tamizado, una criba vibratoria.
- Para la Sedimentación, un sedimentador de flujo horizontal (ref.punto 3.3.4)
- Para la filtración, un filtro lento de arena.

Un filtro lento de arena consiste en un estanque de concreto, cubierto, de unos 3 a 4 metros de profundidad. Se colocan líneas de tubos para drenaje, de juntas abiertas, distanciadas 1.80 m aproximadamente, conectadas a un tubo central o colector principal. Las líneas de tubos de drenaje se cubren con unos 30 a 45 cm. de gravas clasificadas por tamaños, poniendo los tamaños más gruesos en el fondo y cubriéndolos gradualmente con los más chicos hasta que la grava se cubre a su vez con unos 90 cm de arena. La cubierta de la estructura debe estar cuando menos a 1.80 m sobre la superficie de la arena para que pueda haber una capa de agua de profundidad adecuada, sobre la arena, y suficiente espacio para llevar a cabo la limpieza. La cubierta consiste usualmente de una losa de concreto sostenida por columnas, con una capa de tierra de un metro o más, - - sobre ella, para evitar la congelación. En la fig.A se muestra una sección - - transversal del filtro.

- Dosificador gravimétrico para adición del coagulante. (ref.punto 3.3.4)
- Floculador Rotativo (Ref. punto 3.3.4)
- Tanque Sedimentador de flujo Horizontal (Ref. punto 3.3.4)
- Filtro de Tierra Diatomea (Ref. punto 3.3.4)
- Cloración por gas

En condiciones normales de presión y temperatura, el cloro es un gas. Sin embargo, puede comprimirse fácilmente hasta un punto en que se licúa. Por lo general, en trabajos de abastecimiento de agua se usan recipientes de 68 ó 907 Kg. Esencialmente, los cloradores consisten en diversas combinaciones de válvulas de reducción de presión que funcionan por medio de diafragmas mecánicos, o flotadores operados hidráulicamente, orificos u otro tipo de medidores, para medir el gasto del cloro gaseoso después de que se ha reducido a una presión baja, y - -



CRISA VIBRATORIA

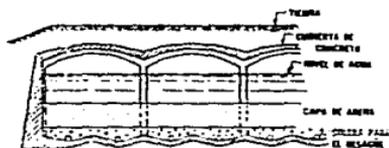
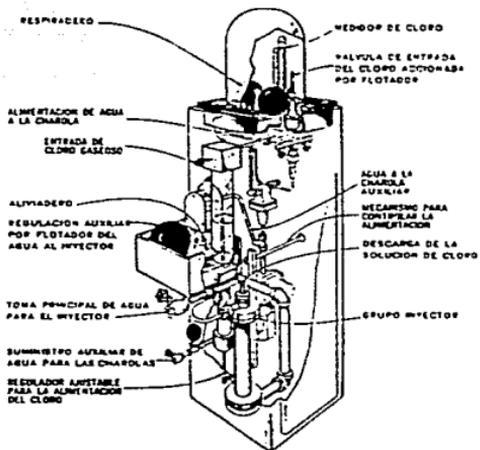


FIG.A
FILTRO LENTO DE ARENA

dispositivos para hacer una solución acuosa del gas e inyectar esta solución al agua que se vaya a tratar. En la fig. B se presenta el diagrama de un clorador.

FIG. B DIAGRAMA DE FLUJO DE UN CLORADOR



A continuación se presentan los resultados de los análisis de efluente de Papelera Iruña, antes y después del tratamiento (la cual utiliza una secuencia similar a la propuesta).

" ANÁLISIS DEL EFLUENTE "

	<u>Antes del Tratamiento</u>	<u>Después del tratamiento.</u>
DBO al 5° día a 20 °C	850 mg/l	236 mg/l
Sólidos suspendidos	1 800 mg/l	56 mg/l
Grasas y Aceites	110 mg/l	24 mg/l
Temperatura	19 °C	30 °C
PH	7.25	6.7
Sólidos sedimentables	125 mg/l	2.5 mg/l
Color (escala Pt-Co)	90	75
Coliformes totales	4 000 000 NMP/100 ml	4 300 NMP/100ml

Después de hacer un estudio comparativo de los resultados antes y después del tratamiento, se observa que esta secuencia maneja una eficiencia - mayor del 75%. Por lo que podemos concluir que este método es confiable y eficaz para la industria papelera.

CONCLUSIONES

La interacción entre hombre y naturaleza ha originado en nuestro tiempo problemas ambientales, y la contaminación del agua figura entre los problemas contemporáneos que más perjudican y preocupan a la humanidad. Este problema es causado principalmente por la industrialización y la urbanización el aumento continuo de la presión demográfica sobre la naturaleza y en general los desechos de las actividades productivas del hombre. Cada vez encontramos más ríos, lagos y en general mantos acuíferos contaminados por el hombre.

La escasez del agua se ha convertido en las últimas décadas en una verdadera preocupación, ya que la ocupamos a diario para aseo personal, de nuestros centros de trabajo y hogar, para uso humano, en fin para todo y todo es indispensable.

En este trabajo sobre Tratamiento de Agua, confirmamos ampliamente que en los últimos años nos vemos en la necesidad de controlar y cuidar del uso del agua, además de buscar medios de limpieza para recircular la mayor cantidad posible, y así tomar la menor cantidad de agua pura.

El Valle de México por no contar con mantos acuíferos cercanos tiene que traer el agua cada vez de sitios más lejanos, y todo esto hace más costoso tan preciado recurso.

Así, el panorama que se nos presenta al contemplar la Ciudad de México es avasallador, la ciudad más grande del planeta saturada de centros habitacionales, grandes zonas industriales, y además veinte millones de habitantes que no cuidan de tan preciado líquido.

Las papeleras en particular ocupan una gran cantidad de agua, que necesitaríamos para uso doméstico y de riego por lo que es de vital importancia ocupar la menor cantidad posible de agua fresca.

Sin embargo cabe hacer notar que la gran mayoría de las fábricas ya establecidas cuentan con equipo sencillo para tratamiento de agua y nosotros recomendaríamos completar dicho tratamiento como la Secuencia 2, para obtener mayores eficiencias en cuanto a la claridad y pureza del agua. Para aquellas papeleras que no cuentan con equipo de tratamiento de agua ya instalado recomendamos la Secuencia 1.

Los coagulantes por su parte, representan una gran ayuda para la floculación debido a que esto hace más rápida la sedimentación que le precede, - ya que sin ellos tardaríamos en algunas ocasiones hasta decenas de años en lograr sedimentarlos. Después de hacer un breve estudio sobre ellos, llega mos a la conclusión de que los 2 mejores tipos son el Alumbre (sulfato de Aluminio) y los Coagulantes Poliméricos. Estos últimos son de reciente -- creación y según los resultados obtenidos (en Papelera Iruña), vemos que -- con estos obtenemos un flóculo más pesado (lo cual nos va a ayudar a que - sedimente más rápidamente y que el flóculo no se rompa tan fácil) que con el Alumbre. Y tomando en cuenta costos y cantidades utilizadas recomen da - mos los Coagulantes Poliméricos.

De tal forma esta páginas pretenden dar una orientación de como econo mizar agua, y de esta forma solucionar en una parte este gran problema de la actualidad. para beneficio del medio ambiente y la humanidad.

Ahora bien estamos firmemente convencidos de que no es suficiente con lo ya establecido y con estar verdaderamente concientes de la magnitud del problema de contaminación y escases del agua, consideramos que son urgen tes medidas de control para el agua, además de nuevas investigaciones sobre coagulantes, y en general nuevos tratamientos para agua de todos tipos, si no además se debe iniciar una pedagogía ecológica formal a nivel nacional, pero sobre todo crear una auténtica conciencia en todos los habitantes de México y en las autoridades, de la magnitud del problema.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Besselievre Schwartz. The treatment of Industrial Wastes.
Ed. McGraw-Hill.
- 2.- C. Earl Libby. Ciencia y Tecnología sobre Pulpa y Papel Tomos I y II. Ed. CECSA.
- 3.- Cruz Martínez Vulfrano. Emisión y Control de Efluentes Industriales. Cuautitlán Izcalli, México 1983.
- 4.- Eskel Nordel. Tratamiento de Agua para la Industria y otros Usos. Ed. CECSA.
- 5.- Galindo Tovar, Pablo José. Análisis y Tratamiento para el reuso de agua en la Industria del Papel. México 1978. (*)
- 6.- Guzmán García Guindalinda de Jesús. Enseñanza experimental del Curso de Plantas de Tratamiento de Aguas. Cuautitlán Izcalli, Edo. de México 1988. (*)
- 7.- Kirk and Othmer. Enciclopedia de la Tecnología Química.
- 8.- Louis F. Martin. Industrial Water Purification. Noyes Data Corporation.
- 9.- Márquez Proa Héctor Javier. Estudio Preliminar para Sustituir Agua potable por efluentes de Tratamiento en un Proceso de fabricación de Celulosa y Papel en el Valle de México. México 1980.
- 10.- Powell T. Sheppard. Acondicionamiento de Aguas para la Industria. Ed. Limusa.
- 11.- Riegel. Manual de Riegel de Química Industrial.
- 12.- Sheppard T. Powel. Manual de Aguas para usos Industriales. Ed. Ciencia y Técnica.
- 13.- Sittig. Pulp an Paper Manufacture Energy Conservation and Pollution Prevention.

(*) Ref. de Técnicas de Análisis.