



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA

.Estudio técnico económico para la recuperación  
del agua de desperdicio de una fábrica de asbes-  
to cemento por clarificación

# TESIS PROFESIONAL

Que Presenta  
WILFRIDO ALFREDO ARROYO REYNOSO  
Para Obtener el Título de  
Ingeniero Químico

1973



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

Tesis

140

180

FECHA 1973

PROG. Ht. 20



QUÍMICA

*A Mis Padres*  
*Con Gran Cariño y Veneración*

*A Mis Hermanos*

*A Mi Escuela*

*A Luz Maria  
Con Gratitud y Afecto*

*A Mis Maestros  
Compañeros y Amigos*

*Al H. Jurado*

*A Todas Las Personas Que Me  
Han Brindado Su Ayuda*

	PRESIDENTE	PABLO HOPE Y HOPE
	VOCAL	MANUEL GAVALDON MONT
JURADO ASIGNADO	SECRETARIO	EDUARDO ROJO Y DEL REGIL
	1er. SUPLENTE	CUTBERTO RAMIREZ CASTILLO
	2o. SUPLENTE	JULIO CORDERO GARCIA

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

"ASBESTOS DE MEXICO", S. A.

SUSTENTANTE	WILFRIDO ALFREDO ARROYO REYNOSO
ASESOR DEL TEMA	MANUEL GAVALDON MONT

I N D I C E

CAPITULOS:

- I.- INTRODUCCION.
- II.- DESCRIPCION DEL EQUIPO EXISTENTE EN LA FAERICACION DE -  
ASBESTO CEMENTO.
- III.- SISTEMA PROPUESTO DE RECUPERACION DE LAS AGUAS. DATOS Y  
CARACTERISTICAS. CALCULOS.
- IV.- ESTUDIO TECNICO ECONOMICO.
- V.- CONCLUSIONES.
- VI.- BIBLIOGRAFIA.



CAPITULO I

Introducción.

## I.- INTRODUCCION

El agua es una substancia que la industria usa en tan bajas cantidades que sobrepasan por mucho a todos los otros materiales. Se requieren más de 250 toneladas de agua para fabricar una tonelada de acero; sobre 700 toneladas para fabricar una tonelada de papel, más de 1,200 toneladas para hacer una tonelada de aluminio. En esta lista se puede incluir la industria de asbesto cemento, por lo que el principal objetivo de esta tesis es el de prevenir cualquier problema que se presente, ya sea por escasez o por ampliación de la planta. Las fuentes de suministro pueden ser aguas superficiales (ríos, lagunas, canales, lagos), o pueden ser aguas subterráneas (pozos profundos, manantiales o galerías filtrantes). Cualquiera que sea la fuente de abastecimiento el agua contendrá impurezas ya que no hay agua natural que sea químicamente pura.

Las impurezas que están presentes en el agua se pueden agrupar de la siguiente manera:

- a).- Substancias minerales disueltas,
- b).- Gases disueltos,
- c).- Turbiedad y sedimento,
- d).- Color y materia orgánica,
- e).- Sabores y olores,
- f).- Micro-organismos.

Que estas impurezas sean dañinas o no; dependen de:

- (1) La naturaleza y cantidad de las impurezas presentes,
- (2) Usos a los cuales el agua esté destinada,
- (3) Tolerancia para las varias impurezas para cada caso en particular.

### Acondicionamiento de agua industrial

Los suministros de agua industrial deben ser:

- a).- Suficientemente abundantes para cubrir los requerimientos presentes y futuros.
- b).- Disponibles a suficiente nivel de flujo y presiones para satisfacer las máximas demandas.

c).- Ser de calidad apropiada para los usos finales.

Al seleccionar un sitio para una planta, las investigaciones mostrarán cuales son los apropiados para proporcionar suficiente agua de una calidad que pueda ser tratada simple y económicamente para llenar los requisitos de sus varios usos.

Abastecer agua en cantidad adecuada a una planta cuyos suministros están disminuyendo o son sobrepasados no son una cosa simple. Si se trata de un pozo profundo, el primer paso que se sigue usualmente es profundizar el pozo, pero esto no se puede hacer indefinidamente. Espaciar los pozos o adquirir un nuevo campo de bombeo es la mejor solución.

Otras medidas que se deben tomar en cuenta en la mayoría de las plantas industriales son:

- a).- Disminuir las pérdidas.
- b).- Estudiar las operaciones de la planta y encontrar la manera de volver a usar el agua sin tratamiento alguno.
- c).- Tratar de recuperar el agua con tratamiento y usarla nuevamente en la planta.

Los ahorros de agua que se pueden alcanzar por éstos métodos son sorprendentemente grandes.

#### Flujos.

Los flujos de que se debe disponer, deben siempre basarse en las demandas máximas y no en los promedios. De aquí que las tuberías, bombas, sistemas de distribución, válvulas, etc., deben ser lo suficientemente grandes para manejar estas cargas. El equipo de tratamiento no deberá forzarse más allá de su capacidad de diseño. Debe recalcar que las garantías de los fabricantes se aplican solamente cuando no se exceden de sus límites.

#### Calidad.

La calidad del agua requerida depende de su uso o usos finales, ya que la tolerancia para algunas impurezas varía con estos usos, la calidad del agua requerida en cada caso puede diferir grandemente.

Si el agua dura no es apropiada para todos los usos de la planta, por ejemplo, si es muy turbia, si tiene alto color o contiene hierro o manganeso, puede emplearse una planta central para eliminar estas impurezas, sin o acompañado de cualquier otro tratamiento que pueda requerirse para proveer agua de la calidad adecuada para esos varios usos. Para la mayoría de los usos, sería innecesario y antieconómico proceder a eliminar todas las impurezas presentes. En lugar de esto, lo que se requiere es suprimir prácticamente la mayor parte de las impurezas indeseables o su reducción a márgenes no perjudiciales.

#### Usos del agua industrial y proceso de acondicionamiento de agua

Las aguas usadas en plantas industriales pueden clasificarse brevemente como sigue:

- a).- Agua de alimentación de calderas
- b).- Agua de enfriamiento
- c).- Agua de proceso
- d).- Agua para propósitos generales

Cuando se requiere un tratamiento del agua, el tipo de equipo de tratamiento que se usará depende de cierto número de factores, entre los cuales los más importantes son, la composición del agua dura y la calidad del efluente requerido.

Aguas de alimentación de calderas.- En el caso de agua para alimentación de calderas que operan a baja presión, es suficiente eliminar la dureza. Para calderas que operan a una presión un poco más alta, es conveniente la eliminación de la dureza, disminución de los sólidos totales y reducción en la alcalinidad.

Aguas de enfriamiento.- Los tratamientos de agua de enfriamiento también difieren de acuerdo con la composición del agua cruda, pudiendo usarse cualquiera de los siguientes métodos:

- a).- Un paso y al drenaje
- b).- Un paso y usarse para otros propósitos
- c).- Recircularse en un sistema abierto (torres enfriadoras)
- d).- Recircularse en sistemas cerrados.

Aguas de proceso.- La calidad de agua requerida para dife-

rentes procesos varía en un amplio margen. Frecuentemente se ha encontrado que un mejoramiento en la calidad del agua de proceso no únicamente mejora la calidad del producto final, sino que también efectúa marcadas economías en el proceso y mantenimiento.

**Aguas para usos generales.**- Este término se usa para cubrir el agua empleada en otros usos además del de alimentación de calderas, enfriamiento y procesos húmedos. Obviamente, el agua que se suministra para usos del personal, debe de cumplir con una calidad bacteriológica y deberá también estar libre de olores y sabores objetables.

Constantemente se tiene el problema de entregar agua potable desde el punto de vista químico o desde el punto de vista bacteriológico para los servicios de consumo humano y otros dentro de la fábrica o planta industrial y el principal problema con que se encuentran es la contaminación de orden bacteriológico de los sistemas de abastecimiento de agua para la planta.

En la República Mexicana son contadas las poblaciones que no presentan riesgos de contaminación de los sistemas de agua potable por la deposición de las aguas negras o cloacales.

A los Ingenieros Químicos, como elemento técnico dentro de una planta industrial, les corresponde la responsabilidad de producción, mantenimiento, eficiencia, seguridad, etc., pero también les corresponde como elemento técnico calificado, el cuidar del personal o sea el factor humano.

La Secretaría de Salubridad y Asistencia en su Departamento de Ingeniería Sanitaria tiene como obligación vigilar los abastecimientos de agua potable, primero municipales, segundo de servicios públicos y, tercero, industriales.

Al hablarse de los sistemas de abastecimiento de aguas municipales debe de cuidarse la deposición de las aguas negras en las ciudades y pueblos, las que en la mayor parte de las poblaciones son usadas para propósitos de riego de legumbres y campos de cultivo.

Llaman la atención aquellas poblaciones o fábricas localizadas a lo largo de los ríos, las que reciben aguas contaminadas, ya que el agua del río sirve para toda clase de propósitos.

Otro punto de contaminación es por motivo de infiltración en la tierra. Las aguas negras infiltradas van a contaminar los mantos de agua que surten a los pozos de abastecimiento y, naturalmente, el agua se contamina en forma enérgica por este concepto.

En aquellas fábricas donde no se cuenta con plantas depuradoras de aguas negras y que se tienen fosas sépticas, éstas si no están bien diseñadas son motivo o causa de contaminación de los mantos acuíferos que sirven de abastecimiento.

La contaminación interfiere y aumenta el costo de los procesos de fabricación.

Las tres principales causas de contaminación de las aguas son: erosión, aguas negras domésticas y desechos industriales.

La erosión concierne específicamente, a los Ingenieros Agrónomos.

El tratamiento de las aguas negras domésticas concierne a las autoridades y es la razón por la que se ha mencionado anteriormente. Este punto corresponde a los Ingenieros Sanitarios.

Los productos residuales de la industria constituyen una fuente importante de contaminación y concierne principalmente a los Ingenieros Químicos.

#### Contaminación de las aguas potables por desechos industriales.

La contaminación de las aguas potables por los desechos industriales es actualmente de gran importancia por motivos del gran desarrollo industrial y el crecimiento de muchas poblaciones, tanto por el número de industrias como las industrias mismas.

Hace muchos años las industrias en México estaban constituidas por: Petróleos, Textiles, Fábricas de papel, Ingenios Azucareros, Molinos de harinas, Molinos de aceite, Fundiciones, Cerveza y Vidrio. En la actualidad la República Mexicana cuenta con gran número de industrias en todas las ramas.

Existe la creencia que el problema es desalojar las aguas-residuales únicamente fuera del area de la propia industria, sin preocuparse de los problemas que pueden originar estos desechos industriales. La industria ha descargado durante mucho

tiempo, sus desechos industriales en los lugares inmediatos o bien en los ríos, sin un tratamiento adecuado.

El diseño de una planta para depuración de aguas negras tiene diferentes procesos que son de interés para la Ingeniería Química.

El tratamiento de las aguas residuales industriales ha sido considerado en últimos términos por los factores siguientes:

- a).- El costo del tratamiento
- b).- Facilidades de tratamiento
- c).- Conocimiento de procesos correctivos
- d).- Explotación del interés personal en detrimento del interés público.

Es importante establecer un programa para la solución de estos problemas de las aguas residuales, no solo por el beneficio colectivo, sino por el beneficio de la propia industria.

#### El problema de la ciudad de México por escasez de agua potable.

Es de nuestro conocimiento el crecimiento tan grande en la ciudad de México en lo que se refiere al número de habitantes y al número de industrias, y ante este problema se ha presentado otro más grave que es la escasez de agua potable para consumo humano.

Por motivo del crecimiento de la industria, ya las Cámaras de Comercio y otras instituciones han sugerido el desplazamiento de las industrias hacia otras partes de la República Mexicana.

Ante la escasez de agua potable para el servicio de los habitantes, las autoridades del Departamento del Distrito Federal han dictado leyes para obligar a las industrias a recuperar o recircular el agua, y para ser más efectiva la aplicación de la ley, han impuesto multas y elevado las tarifas del agua.

CAPITULO II

Descripción del Equipo Existente en la Fabricación de Asbesto Cemento.



## II.- DESCRIPCION DEL EQUIPO EXISTENTE EN LA FABRICACION DE ASBESTO CEMENTO.

### Reseña Histórica del Asbesto Cemento.

El uso de las fibras del asbesto se remonta aproximadamente a 2,500 años según muestran algunos escritos antiguos.

Los pueblos mediterráneos usaron el "litos amiantos", que venían de varios depósitos pequeños de la parte norte de Italia y de la Isla de Chipre, para la fabricación de trajes crematorios, tapetes y mechas para las lámparas de sus templos. - En Rusia durante el reinado de Pedro el Grande, las fibras de asbesto se utilizaron en textiles, industria que no prosperó en aquella época. (2)

La idea de utilizar el asbesto como armadura del cemento pertenece a Kuhlewein en el año de 1892, y fué llevada a la práctica en el año de 1900 por Ludwig Hatscheck en Vocklabruck, Austria. Este Sr. Ludwig Hatscheck construyó fábricas en los países de Europa, instalando en ellas pilas holandesas y máquinas laminadoras tomadas de la industria papelera.

En el año de 1913, en Italia los Ings. Diego Matteo y Adolfo Mazza inventaron y patentaron la primera máquina para fabricar tubos para conducción de fluidos a presión.

En el transcurso de los años el avance de la técnica en los sistemas de fabricación de la industria del asbesto cemento, lograron la obtención de más y mejores productos de tal manera que las características y ventajas del asbesto cemento empezaron en el mercado mundial.

En nuestro país existen 6 fábricas que cubren el mercado nacional de productos de asbesto cemento, tales como tubería para conducción de fluidos a presión, láminas onduladas, tubería para conducción de cables eléctricos, tinacos y productos especiales.

### Materia Prima.

Para la fabricación del asbesto cemento los materiales fundamentales que se utilizan son el asbesto y el cemento, adu

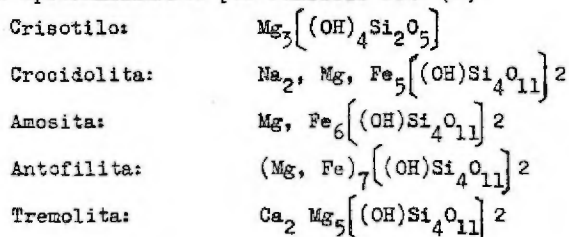
más para proporcionar la humedad necesaria a la mezcla y para - operaciones ulteriores se emplea el agua. Para acelerar el cura do del material con vapor a alta presión, se emplea sílice como sustituyente parcial del cemento.

Fibras de asbesto.

Tecnológica e industrialmente el término asbesto se aplica a aquellas variedades cristalinas fibrosas de 5 distintos silicatos naturales.

Con la combinación de propiedades que condicionan la posi bilidad del asbesto cemento en la industria, existen dos grupos principales que son: los asbestos serpentina (cristotilo) y los asbestos anfíbol, cuyas características se observan en la tabla núm. 1.

Las fórmulas teóricas ideales de las 5 clases de asbesto, - calculadas aproximadamente por análisis son: (2)



T A B L A No. 1

Denominación de los asbestos usados industrialmente

G r u p o	Denominación del mineral	Denominación del asbesto
Asbesto Serpentina.	Serpentina	Crisotilo
Asbestos Anfíbol	Riebeckita	Crocidolita
	Gruenerita	Amosita
	Antofilita	A. Antofilita
	Tremolita	A. Tremolita

La tabla No. 2 indica la composición en por ciento de las - 5 clases de asbesto; puede observarse en esta tabla que el -

contenido de agua es un indicador para la diferencia entre asbesto crisotilo y asbesto anfíbol.

T A B L A No. 2

Composición Química de los Asbestos en % (2)					
Variedad	SiO <sub>2</sub>	MgO	Oxidos de Fe y Al	CaO Na <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O
Crisotilos	35-44	36-44	0-9	0-2	12-15
Crocidolitas	49-57	3-15	20-40	2-8	2-4
Amositas	45-56	4-7	31-46	1-2	1-3
Antofilitas	52-64	25-35	1-10	0-1	1-5
Tremolitas	50-63	18-33	2-17	1-10	1-4

Industrialmente, las características más importantes de los asbestos son las longitudes de sus fibras y el grado de desintegración de las mismas. De tal manera que las distintas clases de asbesto son divididas, tratadas y usadas de acuerdo con sus propiedades.

Es de importancia que al recibir un producto de asbesto se realice por muestreo, la prueba de tamizado con el fin de comprobar el grado del asbesto que marca en los paquetes, pues podría existir error de empaque del producto desde la mina.

En la industria del asbesto cemento, normalmente se usan mezclas de asbesto de distintos grados comerciales, que de acuerdo con sus propiedades y características hagan una mezcla ideal para cada tipo de producto.

#### Cemento Portland.

Se denomina generalmente, cemento portland, a material hidráulico aglutinante o ligante que resulta de la calcinación de materiales calizos y arcillosos con adición de sulfato de calcio natural. (2)

Desde el punto de vista químico el cemento portland se define como una mezcla de composición heterogénea, finamente pul

verizada, los componentes son:

- a).- Silicatos cálcicos
- b).- Aluminatos cálcicos
- c).- Aluminoferritos cálcicos
- d).- Soluciones sólidas; provenientes de los compuestos anteriores o combinaciones de los mismos con los óxidos libres de las calizas, arcillas, etc.
- e).- Sulfato de calcio natural.

### Sílice.

Se denomina arena sílice, al producto químico industrial - constituido por partículas cuya fórmula es  $\text{SiO}_2$ .

La arena sílice sirve para varios usos, entre los que se encuentran: la industria química para la fabricación de vidrio, silicatos, pigmentos, piedras artificiales, etc; en la industria metalúrgica para la elaboración de moldes de fundición; en la industria del cemento para el curado de los productos, con vapor a presión.

La arena sílice usada en productos de asbesto cemento debe cumplir determinadas especificaciones químicas y físicas:

- a).- Especificaciones químicas.

Dióxido de silicio, $\text{SiO}_2$	92.0% mín.
Alúmina, $\text{Al}_2\text{O}_3$	2.0% máx.

- b).- Especificaciones físicas:

Finura que pasa en malla No. 200	92.0% máx.
	90.0% mín.
Finura que pasa en malla No. 300	75.0% máx.
	70.0% mín.
Densidad en g/ml	2.7 máx.
	2.5 mín.
Superficie específica en $\text{cm}^2/\text{g}$	3,000.0 máx.
(Blaine)	2,500.0 mín.

La finura debe controlarse rigurosamente, pues la vida actual de los fieltros de las máquinas laminadoras depende, en un porcentaje considerable de la finura de la arena sílice.

### Sistema de dosificación y mezclador.

La fibra de asbesto es un mineral que se importa actualmente de Canadá y África del Sur. Estas fibras se clasifican por su longitud y constituyen el refuerzo estructural necesario en los productos de asbesto cemento.

El cemento se emplea como aglutinante y la sílice para acelerar el fraguado y neutralizar la cal libre que resulta de la hidratación del cemento.

Existen unos silos que contienen por separado cemento y sílice, de los cuales se toma el material necesario para las mezclas que se pesan y dosifican en un sistema automático. Las fibras de asbesto se agregan posteriormente en una tolva, de acuerdo con el diseño de la mezcla que previamente el laboratorio determina para los diferentes productos.

Esta mezcla de materias primas se transporta hasta un elevador de cangilones para llevarlo a la parte superior del mezclador en seco, para caer inmediatamente en la parte inferior, en donde vuelve a mezclarse hasta obtener una homogeneidad.

### Molino Willow, mezclador triple y mezclador en húmedo. (9)

El siguiente paso es pasar esa mezcla seca por un molino de martillos, con objeto de abrir y separar las fibras de asbesto, distribuyéndolos mejor y aumentando su superficie específica.

Por medio neumático y a través de una tubería, la mezcla se hace llegar hasta la parte superior de un nuevo mezclador triple en seco de donde pasa por un transportador helicoidal a mezclarse con agua en una mezcladora en húmedo de tipo vertical finalmente la pasta llega a la máquina y se aloja en unas cajas metálicas de sección rectangular.

### Planta de láminas.

Se puede decir que esta es una industria que emplea un sistema muy similar al que se utiliza en las fábricas de papel o cartón. Dentro de las cajas de pasta se encuentran en la parte posterior unos agitadores de velocidad controlada que tienen por objeto orientar y distribuir las fibras de asbesto. Tam -

bién dentro de las mismas cajas se encuentra un tamiz cilíndrico giratorio que se encarga de recoger la pasta para llevarla a la parte superior, en donde se adhiere a una banda sinfin de paño que la transporta horizontalmente hasta un cilindro moldeador, pasando primeramente por un dispositivo de vacío para extraer el agua excedente del material.

El cilindro moldeador haciendo presión sobre el rodillo inferior comprime la pasta, la lamina y la recoge del paño formando así, por capas sucesivas muy delgadas una lámina del espesor que se requiera.

Cuando se ha obtenido el espesor necesario, un dispositivo corta la lámina para ser depositada en un transportador y ser moldeada posteriormente.

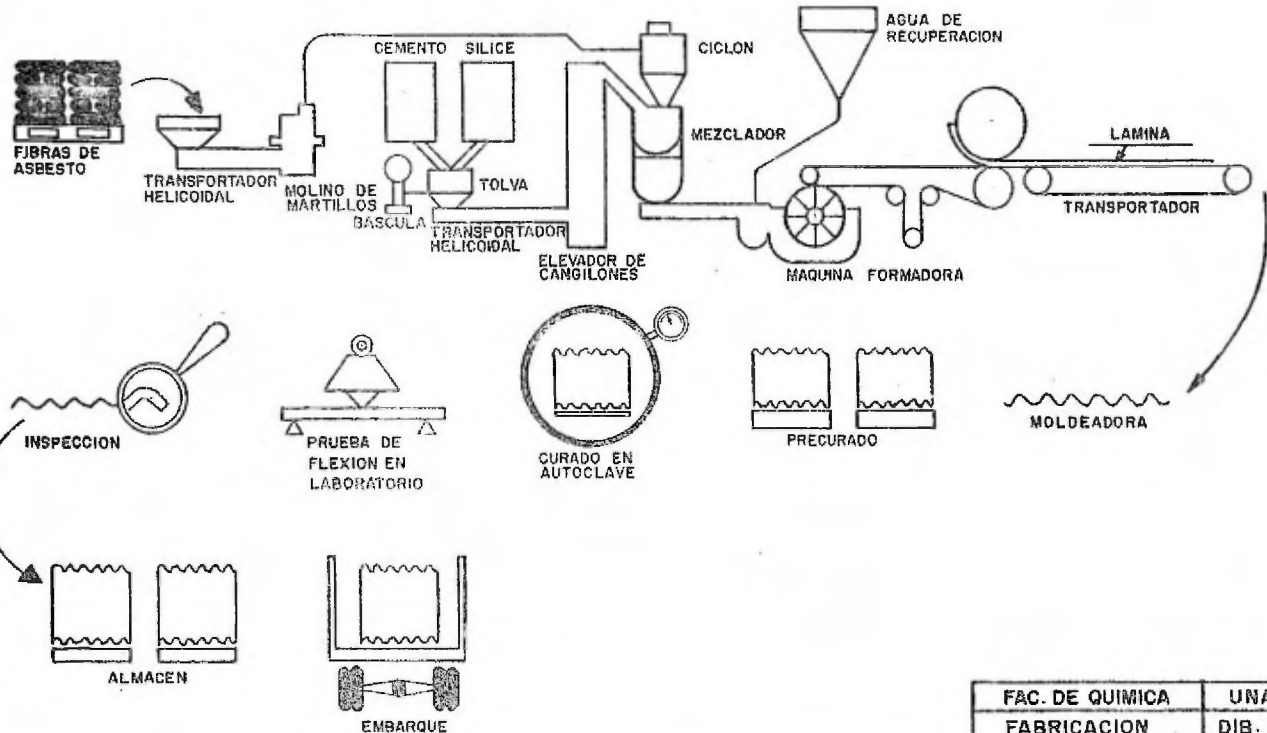
#### Máquinas Mazza. Calandria y Horno de fraguado inicial.

El sistema de fabricación "Mazza" tiene el mismo principio que el que tiene la máquina de láminas y una de sus principales ventajas consiste en que con este sistema se orientan las fibras de asbesto convenientemente de acuerdo con el diámetro y la clase de tubería que se desea fabricar, por ejemplo; si se trata de fabricar un tubo de diámetro pequeño, las fibras se orientan preferentemente en el sentido longitudinal del tubo para darle mayor resistencia a la flexión; y si se trata de fabricar tubos de diámetro mayor que estarán expuestos a mayores presiones interiores, la fibra se orienta en el sentido de la circunferencia con objeto de darle mayor resistencia a estas cargas.

Todo esto se logra por medio de agitadores, de las cajas y del paño que recoge finalmente la pasta para llevarla a la zona de formación. También como en la máquina de lamina el cilindro moldeador comprime y recoge la pasta en forma de película, solo que en este caso dicho cilindro es un tubo de acero pulido llamado mandril adecuado al diámetro del tubo que se está fabricando. (9)

Posteriormente una prensa hidráulica móvil, se encarga de proporcionar presión uniforme a todo lo largo del mandril, hasta que se haya alcanzado el espesor requerido, la prensa levanta el tubo y el mandril, siguiendo un proceso - -

## PROCESO DE FABRICACION DE LAMINAS DE A.C.



FAC. DE QUIMICA	UNAM
FABRICACION DE LAMINAS	DIB. I
	TESIS

continuo.

Cuando el tubo ha salido de su formación sobre el mandril de acero, se hace girar tubo y mandril en una máquina de rodillos denominada "calandria". Ahí se comprueba visualmente si la formación del tubo ha sido correcta.

Se marca el tubo de acuerdo con el diámetro y clase y se hace pasar al interior de un horno de fraguado inicial por medio de un transportador de cadena.

#### Extractor de mandriles.

Una vez que el tubo ha pasado lentamente a través del horno de fraguado inicial, un sistema automático de extracción de mandriles se encarga de realizar esta operación y de regresar nuevamente el mandril hasta la máquina. Para evitar la deformación de las puntas se colocan unos protectores cónicos en cada extremo de los tubos. Después de esta operación los tubos se estibarán convenientemente en mesones para ser llevados a las autoclaves.

#### Autoclaves.

Para explicar la función de la autoclave, es necesario volver a mencionar que las tuberías se fabrican con 3 materias primas fundamentales: asbesto, cemento y sílice, esta última es un acelerante del fraguado y además bajo la presión, humedad y temperatura de la autoclave, neutraliza la cal libre del cemento, formando silicatos de calcio, resultando un producto más resistente al ataque de los agentes químicos de los suelos.

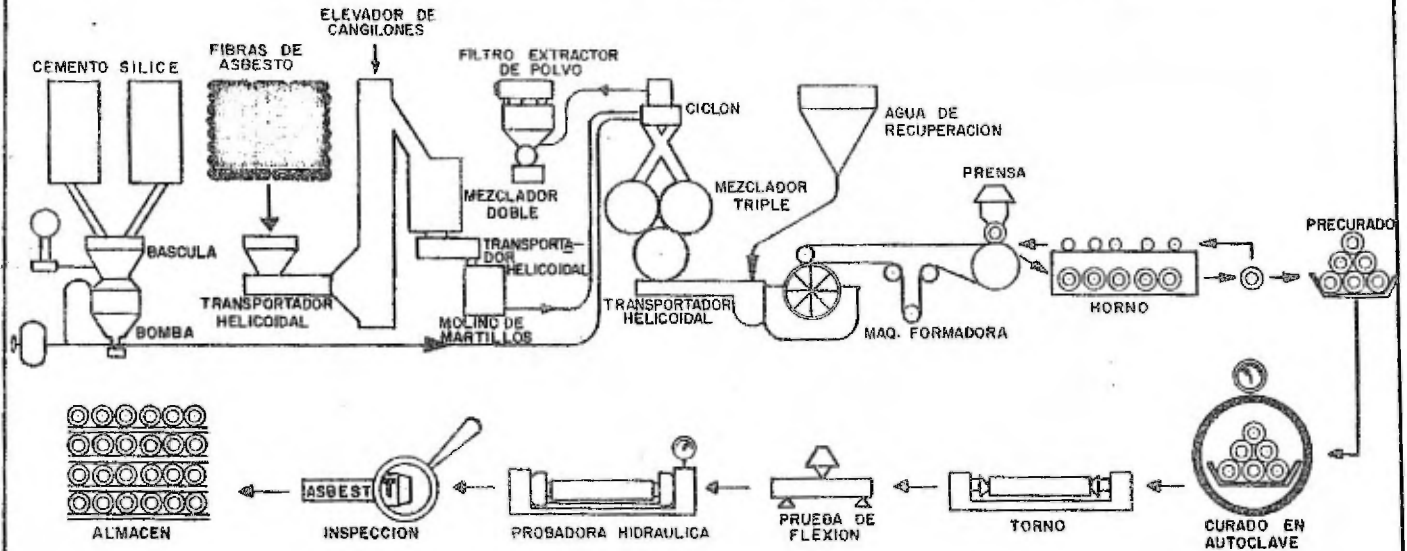
El fraguado se obtiene en un cien por ciento haciendo permanecer presión de  $7 \text{ kg/cm}^2$  ( $100 \text{ lb/pulg}^2$ ) a una temperatura de  $165^\circ\text{C}$  con vapor húmedo. Este sistema permite un mayor ritmo de producción donde normalmente se requerirían 28 días curando el material con agua para obtener características similares.

#### Probadora hidrostática.

Una de las pruebas rutinarias que se hace en la tubería es la de presión hidrostática. En la máquina, los tubos se prueban uno por uno a 3.5 veces la presión de trabajo especificada, de-



# PROCESO DE FABRICACION DE TUBOS DE PRESION DE A.C.



FAC. DE QUIMICA	UNAM
FABRICACION DE TUBOS	DIB. 2
	TESIS

acuerdo con normas nacionales.

### A g u a .

En la fabricación del asbesto cemento, el agua ocupa un lugar muy importante por lo que se debería considerar también como materia prima.

Esto se puede entender si se toma en cuenta que el agua se utiliza tanto en el proceso de fabricación de los productos de asbesto cemento como en el fraguado y acabado de los mismos y - si se hace una descripción de dicha fabricación se podrán observar mejor todas las necesidades del agua.

Proceso.- El proceso de fabricación de los productos es totalmente en húmedo, o sea, se hace una pasta con determinada dosificación tanto de sólidos en suspensión como la cantidad del agua; esta dosificación tiene alrededor de un 80% de agua y como es un proceso continuo se debe mantener esta concentración, - por lo que es necesario tener suficiente cantidad de agua para que no se pierda la continuidad en la alimentación de la pasta.

También se podrían mencionar las necesidades del agua que tiene la máquina para trabajar, tales como el lavado del paño - después del cilindro moldeador y lavado de los tamices cilíndricos giratorios.

Fraguado.- Como se habló al principio de este capítulo, el fraguado de los productos de asbesto cemento es acelerado por medio de vapor a alta presión en autoclaves y al mencionar el vapor necesariamente se tiene que hablar del agua.

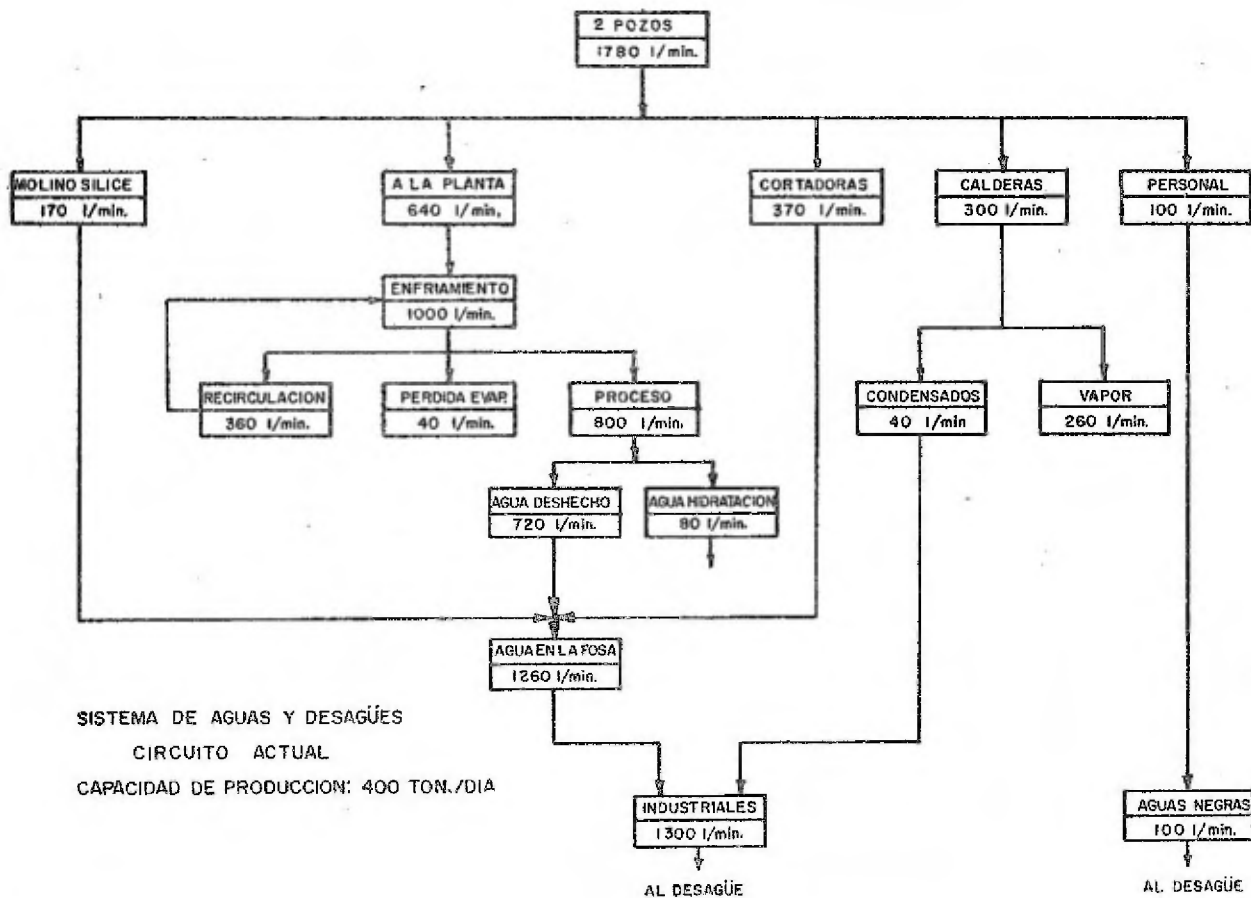
Acabado.- Para el acabado de los productos también se utilizan grandes cantidades de agua, ya que al cortarlos para que tengan las dimensiones específicas es necesario lubricar y eliminar los residuos de la cortadora.

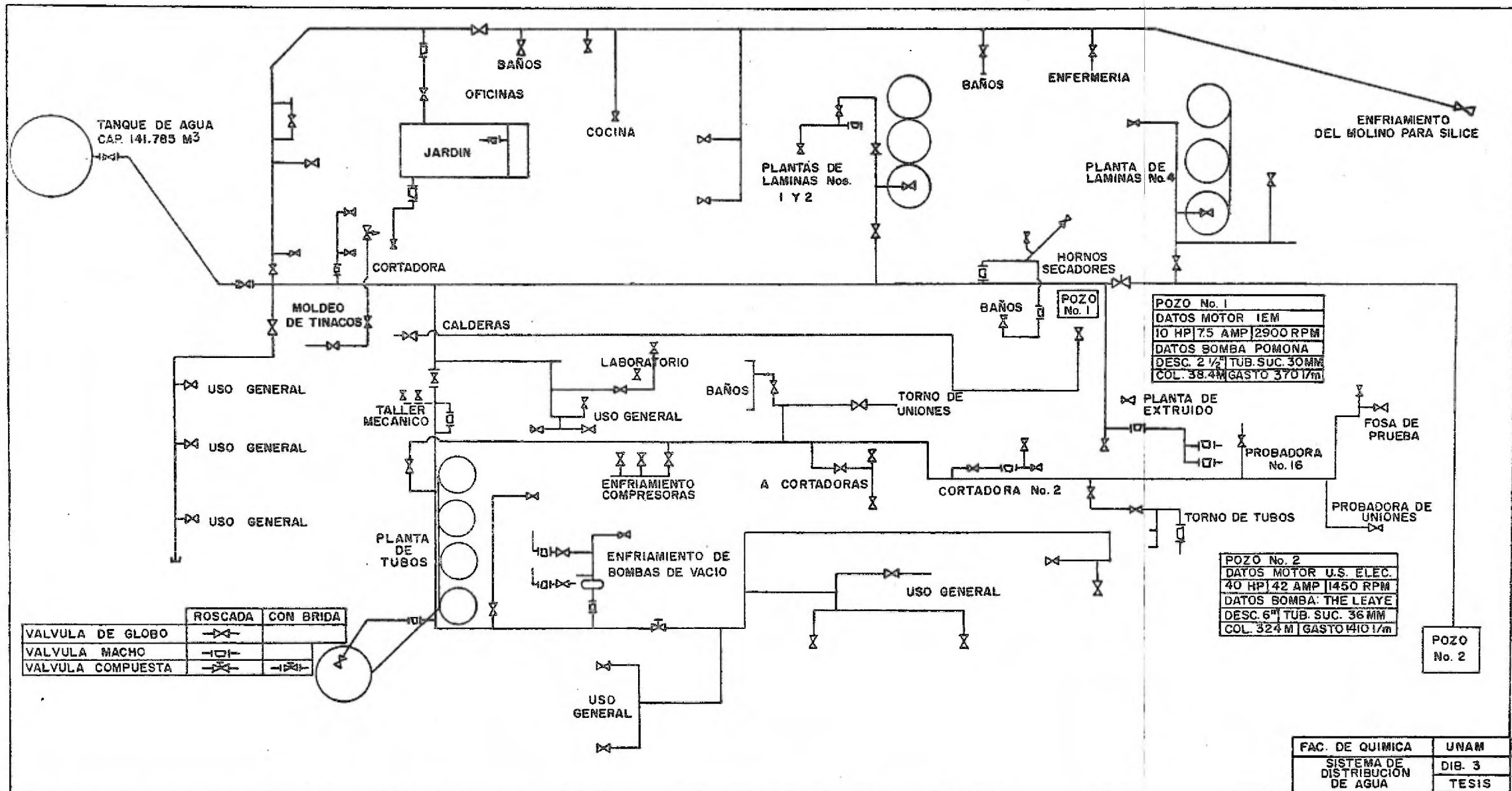
Probadoras.- Toda la producción de tubería deberá de ser probada hidrostáticamente a 3.5 veces la presión de trabajo específica para cada clase, por lo que también se necesita el agua en gran cantidad, lo mismo que para todos los tinacos ya que son sometidos a prueba de fugas.

Servicios.- Dentro de los servicios se puede considerar toda el agua necesaria para enfriamiento de: compresoras, bombas-

de vacío, carros montacarga, chumaceras del molino de sílica. - Igualmente para las necesidades del laboratorio, aseo de las máquinas, comedor, sanitarios y jardines.

Para tener un concepto más amplio de los consumos de agua en toda la planta, se recopilaron los datos necesarios para desarrollar el diagrama del sistema de aguas y desagües actual, - que se presenta en la siguiente página.





	ROSCADA	CON BRIDA
VALVULA DE GLOBO		
VALVULA MACHO		
VALVULA COMPUESTA		

POZO No. 1
DATOS MOTOR IEM
10 HP   7.5 AMP   2900 RPM
DATOS BOMBA POMONA
DESC. 2 1/2" TUB. SUC. 30MM
COL. 38.4 M GASTO 370 l/m

POZO No. 2
DATOS MOTOR U.S. ELEC.
40 HP   42 AMP   1450 RPM
DATOS BOMBA THE LEAYE
DESC. 6" TUB. SUC. 36 MM
COL. 32.4 M GASTO 410 l/m

FAC. DE QUIMICA	UNAM
SISTEMA DE DISTRIBUCION DE AGUA	DIB. 3
	TESIS

CAPITULO III

Sistema propuesto de recuperación de las  
aguas. Datos y Características. Cálculos

### III.- SISTEMA PROPUESTO DE RECUPERACION DE LAS AGUAS. DATO Y CARACTERISTICAS. CALCULOS.

#### Sedimentación, coagulación, asentamiento y filtración.

Para eliminar materia orgánica, color y turbiedad del agua se emplean los siguientes procedimientos: a) sedimentación, b) coagulación, c) asentamiento y d) filtración. (7)

Generalmente los procesos se entrelazan como sigue: coagulación + asentamiento, coagulación + filtración, coagulación + asentamiento + filtración y sedimentación + coagulación + asentamiento + filtración.

a).- Sedimentación.- El término sedimentación generalmente se refiere a la eliminación sin ayuda de coagulante, de materia suspendida, reduciendo la velocidad del agua hasta que sea prácticamente nula, usualmente la eliminación que se logra es solo parcial dependiendo de la materia de que se trate, temperatura del agua y la amplitud de los tiempos de retención. Como las partículas pueden variar en un amplio margen, desde material relativamente grueso a materia coloidal, es evidente entonces que no hay una línea de diferenciación perfecta entre los términos de sedimentación y turbiedad. Se sugiere que en las muestras que se envíen al laboratorio se emplee el término sedimento únicamente para aquellas partículas que, después de que la muestra se agite, se asienten tan rápidamente que no puedan ser determinadas como turbiedad.

Obviamente una definición de esta naturaleza es superficial y a menudo no permite distinguir entre aquellas partículas que después de varios periodos de sedimentación pueden ser eliminadas por sedimentación simple de aquellas que requieren coagulación y asentamiento. Debe hacerse una serie de pruebas en las cuales el grado de sedimentación efectuada en ciertos periodos se determine cuidadosamente, así como una serie comparativa de pruebas de coagulación en el agua cruda antes y después de que el agua se haya sedimentado. Estas pruebas servirán para mostrar que tanto del material suspendido puede ser eliminado en varios periodos de sedimentación, y determinar si puede haber economía en el uso de coagulantes mediante sedimentación prima-

ria.

La sedimentación puede llevarse a efecto en lagos, estanques, depósitos o tanques, cuyo tamaño y período de retención pueda variar ampliamente. Donde se emplean tanques o estanques se recomienda el uso de deflectores para evitar turbulencias. Esta práctica puede reducir considerablemente el período de retención necesario influyendo en el tiempo que se tarda el agua en recorrer los recipientes. En los grandes lagos y depósitos el período de retención puede ser tan largo que no solo se elimina la materia gruesa sino también los sedimentos finos.

b).- Coagulación.- Si una agua turbia o coloreada se pasa a través de un filtro sin coagularse previamente, se verá que toda la turbiedad y el color pasan a través del filtro. Esto se debe a que el color y la turbiedad están formados por partículas coloidales que pasan por el medio filtrante. De aquí que es necesario tratar el agua antes de filtrarla, de manera que estas partículas que se aglomeran formen grumos que puedan ser retenidos por los filtros.

A este tratamiento se llama coagulación; las sustancias químicas usadas son coagulantes y los precipitados gelatinosos que se obtienen se llaman flóculos. Si los flóculos se producen en condiciones apropiadas, capturarán los suspensoides y formarán, por aglomeración, grumos suficientemente grandes que serán retenidos por el filtro dando efluentes claros. La gran mayoría de los flóculos se asientan fácilmente de manera que el uso del equipo apropiado para su manejo, necesitará menos cargas en los filtros.

Las sustancias que se usan en la coagulación son compuestos del hierro y aluminio, usualmente sulfatos. Debido a su naturaleza ácida, esta sustancia reacciona con la alcalinidad natural o añadida del agua para formar hidróxido y sulfato respectivos.

Generalmente se admite que los flóculos los forman el hierro y el aluminio pero en realidad son sulfatos básicos de combinación compleja. La mayoría de las partículas coloidales que forman el color y la turbiedad tienen cargas eléctricas negativas mientras que los hidróxidos mencionados tienen cargas -



positivas. De aquí que en la coagulación se encuentren implicados dos fenómenos mecánicos y eléctricos. Las dosis de coagulantes y el pH óptimo varían para cada agua en particular. De manera general se puede decir que la dosis de coagulante varía desde fracciones de p.p.m. hasta más de 80 p.p.m.; el pH favorable para los coagulantes de aluminio es de 5.5 a 7.5 para los coagulantes del hierro el intervalo usualmente es de 3.5 a 5.5 y arriba de 9.0. Hay algunas excepciones para los coagulantes de aluminio por ejemplo, con aguas altas en sólidos disueltos se emplea un pH de 8.0. (7)

Con aguas difíciles de coagular, el intervalo de pH puede ampliarse añadiendo una ayuda de coagulación, tal como arcilla, sílice activada o polielectrólitos.

Pruebas de laboratorio.- Las dosis de coagulantes, pH adecuado y demás datos para efectuar una buena coagulación, se deben determinar en el laboratorio mediante pruebas que se efectúan en frascos de vidrio de boca ancha. Estos frascos pueden agitarse a mano pero es preferible efectuar varias pruebas simultáneas mediante un agitador mecánico múltiple de velocidad variable, preferentemente la concentración de los reactivos debe ser tal que cada mililitro añadido corresponda a una parte por millón.

Se registra el tiempo para la formación de los flóculos.- Se detiene la agitación y se anota el tiempo necesario para el asentamiento. Esto generalmente se expresa como porcentaje sobre lo que se asienta en períodos de 5, 10 y 15 minutos. Ya que esto se hace por estimación del observador, lleva implícito un error humano.

Debido a que un buen flóculo se asienta mucho más rápidamente que uno malo y las determinaciones son comparativas, no es necesario un elevado grado de exactitud.

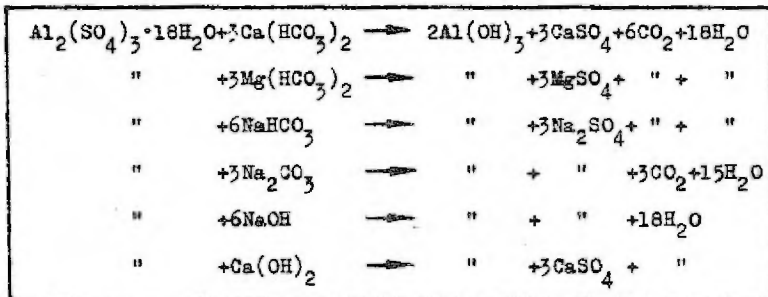
Con los volúmenes que se manejan en los equipos de coagulación se obtienen mejores coagulaciones y menos dosis de coagulantes que las que usualmente se obtienen en los pequeños va

lúmenes de los frascos de boca ancha. Por lo que, las pruebas en los frascos indican solamente las dosificaciones aproximadas y óptimas. Los ajustes finales se hacen en el equipo.

- Coagulantes.- Los coagulantes más comunmente usados son: a) Sulfato de aluminio, b) Sulfato férrico, c) Sulfato ferroso, d) Alumbre de potasio o amonio, e) Aluminato de sodio.

Sulfato de aluminio.- Este tipo de coagulante es el de uso más amplio,  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ . Se dispone en formas ácida y básica con contenido de:  $Al_2O_3$  de 14.5 a 17.5%. El contenido de agua de las formas industriales es de 14 moléculas de agua, se puede comprar en forma granular, cristales, polvo o solución. Al disolver las formas sólidas se recomienda contar con agitación mecánica. Este reactivo se puede dosificar con dosificadores en seco, electroquímicos de gravedad por orificio, por presión, etc. Las reacciones del sulfato de aluminio con hidróxido, bicarbonatos y carbonatos, se muestran en la tabla No. 3, indicando la precipitación de hidróxido de aluminio. (7)

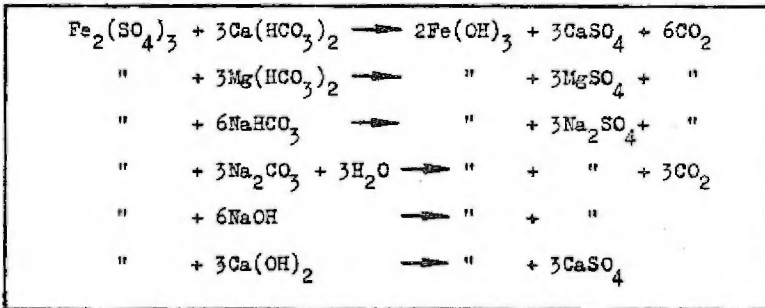
TABLA NO. 3



Sulfato férrico.- El contenido de sulfato férrico en los productos comerciales generalmente varía de 70 a 90%. Algunos tipos tienen cantidades apreciables de sulfato de aluminio. En el mercado se encuentra en forma granular. El sulfato férrico es muy soluble y sus soluciones se preparan fácilmente por agitación con 2 partes de agua y una de sulfato. La solución concentrada se diluye a la cantidad deseada. El sulfato férrico puede dosificarse tanto en solución como en forma sólida, en la dosificación en forma líquida deben emplearse materiales no

corroibles tales como acero inoxidable o plástico. El pH óptimo para la coagulación debe determinarse por experimentos en el laboratorio. Sus reacciones con sustancias alcalinas usualmente se indican para mostrar la precipitación del hidróxido férrico. Las reacciones del sulfato férrico con hidróxidos, bicarbonatos y carbonatos se muestran en la tabla No. 4. (7)

TABLA NO. 4



Ayudas para la floculación.- Como ya se mencionó, algunas sustancias se emplean para mejorar las características de los coagulantes ya citados, favoreciendo la formación de flóculos más grandes y pesados, ayudan a eliminar color, sólidos suspendidos y materia orgánica. Los materiales que se emplean con este propósito pueden ser clasificados como: a) arcillas, b) sílice activada y c) polielectrólitos.

a) Arcillas.- Algunas arcillas son muy empleadas como ayudas de la coagulación en la eliminación de color de aguas altamente coloreadas. Posiblemente esta práctica tiene su origen en la observación de que las aguas superficiales de bajo contenido mineral, son más fácilmente coagulables cuando tienen turbiedad. Los experimentos han demostrado que algunas arcillas son notablemente efectivas en la eliminación de color y turbiedad.

b) Sílice activada.- La sílice activada es una ayuda de coagulación muy efectiva para eliminación de turbiedad, color, materia orgánica u otros suspensoides. Usualmente se emplea junto con los coagulantes ya mencionados, pero en algunos pro-

cesos puede usarse como coagulante. La sílice activada no existe como tal, sino que tiene que ser preparada en el sitio de uso por la acción de ciertos materiales ácidos sobre el silicato de sodio. En algunos procesos la sílice activada se prepara por lotes y en otros se prepara y agrega continuamente mediante proporcionadores especiales. La dosis de sílice activada se puede determinar fácilmente en el laboratorio. En general cuando se emplea junto con un coagulante común la dosis varía de una a cinco p.p.m.

c) Polieletrólitos.- Este término se ha adjudicado a ciertos complejos orgánicos de origen natural o sintético que se emplean como ayudas de la coagulación, ya sea en unión de los coagulantes usuales o en ciertas aplicaciones, solos como coagulantes. Además estos materiales se pueden clasificar como catiónicos, aniónicos y no iónicos.

El mejoramiento de la formación de flóculos, asentamiento y clarificación que se puede efectuar con el uso de estos polieletrólitos, es a menudo considerable. La dosificación y el polieletrólito adecuado debe determinarse por pruebas en el laboratorio.

La dosis varía con diferentes aguas y aplicaciones pero en general, cuando se usa como ayuda para la clarificación en aguas naturales, la dosis es de 0.5 a 1 p.p.m., al mismo tiempo hace el pH menos crítico. Cuando se usa como coagulante en los sistemas en frío la dosis será de 1 a 2 p.p.m. En aguas de desperdicio varía de 0.5 a más. (7)

c) Asentamiento.- El término asentamiento, como se usa en este trabajo, se refiere al asentamiento de la materia coagulada. Tanto el equipo de coagulación como el de asentamiento, deben estar diseñados de tal manera, que efectúen una buena coagulación con el mínimo de reactivos y que se logre eliminar por asentamiento la casi totalidad de la materia floculada. Estos resultados solo pueden obtenerse con equipo perfectamente diseñado.

En la práctica moderna, se emplean dosificadores con reactivos que permiten la dosificación de las sustancias químicas

empleadas en el tratamiento del agua. Estos dosificadores pueden ser en seco o en húmedo, y según el gasto del agua la dosificación puede ser constante o proporcional al flujo. Es fundamental lograr una rápida incorporación y mezcla de los reactivos con el agua, lo que se puede lograr por medios mecánicos, con agitadoras o utilizando canales con mamparas. El equipo de coagulación y asentamiento puede ser del tipo moderno de lecho suspendido o del tipo convencional.

Equipo de lecho suspendido.- Desde su introducción este -- equipo se ha popularizado mucho y se ha usado tanto en coagulación como en operaciones de tratamiento por el proceso de carbonato en frío. En este equipo se pueden efectuar simultáneamente la clarificación y ablandamiento de agua en caso de requerirse así.

La principal diferencia entre este equipo y el de diseño convencional, es que en el primero todo el flujo de agua se filtra a través de un lecho de lodos que se encuentra suspendido en la parte inferior del equipo. Este contacto del agua con el floculo previamente formado permite una completa utilización de la capacidad de adsorción de los floculos; por lo tanto, se logra una reducción apreciable en el consumo de reactivos, se requieren menores tiempos de retención y así, las plantas son más compactas. Estas instalaciones dan efluentes de composición satisfactoria.

Estos equipos se construyen en 2 tipos; diseño horizontal y diseño vertical. En este tipo de equipo el agua cruda y el coagulante (además de otros materiales que requieren los tratamientos) fluyen primero hacia abajo a través de un compartimiento, cuya acción aumenta de arriba a abajo y está equipada con agitadores mecánicos. A la salida de este primer compartimiento, el flujo del agua se invierte y se filtra al pasar a través de un lecho suspendido formado por lodos previamente precipitados en un segundo compartimiento cuya sección aumenta en el fondo hacia la parte superior.

Este arreglo disminuye la velocidad del agua, de manera que se alcanza un plano donde la velocidad del agua es muy pe-

queña para elevar los flóculos formados. En la práctica se ha encontrado que hay una clara división entre estas dos zonas, es decir entre el lecho suspendido y el agua situada encima de él que llega hasta el derrame, llamada zona de clarificación.

La superficie o altura de los lodos se mantiene dentro de ciertos límites eliminando parte de aquellos mediante purgas a medida que se van formando como resultado del tratamiento químico. La eliminación de los lodos concentrados de estos compartimientos se puede hacer ya sea manual o automática, intermitente o continua.

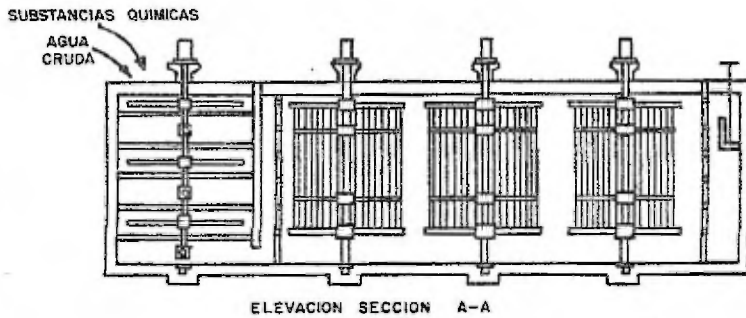
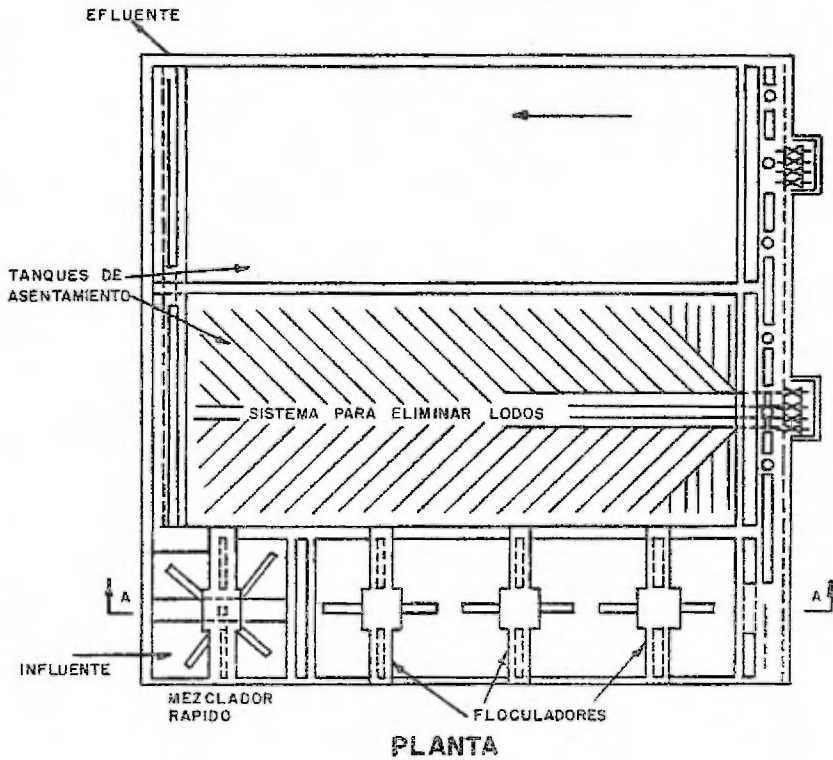
El efluente de este tipo de equipo es bastante claro, aunque no siempre es lo suficiente. De aquí que si se requiere limpio y claro, el efluente se filtra antes de enviarse al servicio. Este es el caso de aguas que se tratan para uso municipal o para algunos otros usos industriales. Muchas aguas industriales de enfriamiento y de proceso no requieren ser tan claras, por lo que la filtración se omite.

Por otra parte, si el agua se someterá a otro tratamiento tal como ablandamiento por intercambio catiónico, de ionización etc, debe filtrarse antes de introducirse a este equipo. En las industrias en donde se cuenta con un tratamiento de agua central en el que se reduce la dureza, es práctica común usar este tipo de equipo y filtrar únicamente una parte del efluente para los procesos que demanden una alta claridad en el agua.

Floculadores y tanques de asentamiento.- El equipo típico de floculación, coagulación y asentamiento de tipo horizontal, que se muestra en la figura 4 consiste de a) mezclador rápido, b) una o más cámaras de floculación, c) uno o más tanques de asentamiento. El objeto del mezclador rápido, como su nombre lo indica, es mezclar el coagulante y otras sustancias químicas rápidamente con el agua cruda, mediante un mecanismo de movimiento rápido. La reacción con los reactivos no es rápida, lo que explica por que entre más rápido se mezclan las sustancias usadas en el tratamiento con el agua, más eficiente es el uso del coagulante.

Para la formación de partículas grandes, fácilmente asentables, se necesita que las pequeñas se aglomeren. Se ha encontrado que la agitación violenta evita la formación de flóculos - -

# EQUIPO DE LECHO SUSPENDIDO DISEÑO HORIZONTAL



FAC. DE QUIMICA	UNAM
DIAGRAMA DE FLUJO	DIB. 4
	TESIS

grandes y pesados, manteniendo los precipitados en suspensión.

Es por ésto que los conductos que comunican a los floculadores y los tanques de asentamiento, deben tener suficiente área transversal para evitar turbulencias. Es también muy importante evitar flujos que se canalicen tanto como sea posible, ya que el uso de un tanque de asentamiento que tenga un tiempo de retención grande, no necesariamente implica que el agua necesite todo el tiempo para pasar a través de él.

De una manera general, los períodos de retención empleados son de 5 a  $7\frac{1}{2}$  minutos en el mezclador rápido, de 20 a 45 minutos en el floculador y de  $1\frac{1}{2}$  a 2 horas en el tanque de asentamiento. Los flóculos asentados en estos últimos tanques se eliminan continua o intermitentemente.

d) Filtración.- Los tipos de filtros usados para la filtración de agua, casi todos son del diseño que emplean materia granular como medio filtrante, normalmente arena fina, a través de la cual el agua se filtra en flujo descendente. A este tipo de filtros se les conoce genéricamente como filtros de arena.

La filtración como ya se dijo se usa solo cuando a este filtro no es necesario someterlo a procesos de maduración. En su operación se usan coagulantes, y usualmente es suficiente un período de 2 a 3 minutos al iniciar el ciclo para que el efluente esté completamente claro. Los filtros rápidos, se pueden dividir en dos clases, de presión o de gravedad. En las instalaciones industriales se usa casi siempre el primer tipo, pero cuando se manejan grandes volúmenes de agua se usa el tipo de gravedad, principalmente en el proceso de ablandamiento de cal en frío. (8)

#### Desarrollo de un programa específico.

Para instituir un programa específico en una planta, se sugiere se siga el procedimiento siguiente:

Paso núm. 1.- Determinar las características del agua cruda tomando como base un registro analítico cronológico con el que se cuenta usualmente en toda la planta.

Paso núm. 2.- Determinar los requerimientos pertinentes del agua tratada y las limitaciones existentes para su uso fi -



nal.

Paso núm. 3.- Investigar los métodos básicos de tratamiento que proveerán un agua tratada que llene los requerimientos de calidad establecidos en el paso núm. 2, a partir del agua cruda con las características determinadas en el paso núm. 1.

#### Pruebas de frascos.

La prueba de frascos es el método usual para la determinación del programa químico más efectivo para clarificar un agua. Cuando estas pruebas son realizadas correctamente e interpretadas con buen criterio, sus resultados pueden indicar:

- a).- Los efectos de los reactivos químicos individuales o mezclas de ellos sobre el agua cruda bajo investigación.
- b).- Los efectos de diferentes velocidades de agitación.
- c).- Los puntos más adecuados de adición de productos químicos en el proceso.
- d).- El efecto de alimentar las ayudas para la floculación en uno o varios lugares sobre los resultados.

#### Soluciones y equipo requerido para las pruebas de frascos.

Soluciones de los siguientes coagulantes primarios de concentraciones conocidas:

- a).- Sulfato de aluminio.
- b).- Sulfato férrico.
- c).- Carbonato de sodio
- d).- Cal hidratada.

Soluciones de polielectrólitos o ayudas coagulantes.

Agitador de velocidad variable, de preferencia con un mínimo de seis agitadores.

Vasos de precipitado o frascos de boca ancha de 1,000 o de 1,500 ml.

Si se está investigando una agua cruda cuyas características de coagulación se desconocen y no se tiene ningún programa establecido (planta nueva antes de operar), se compara el efecto de todos los reactivos entre sí para determinar el mejor.

### Procedimiento de las pruebas de frascos.

- a).- Obtener una muestra fresca suficiente para llenar todos los frascos cuando menos de una serie de prueba.
- b).- Tomar muestra de agua fresca de volumen conocido e igual para obtener la primera serie de frascos, agitarlos perfectamente.
- c).- Centrar cada agitador en su frasco y agregar los reactivos a cada frasco usando una pipeta graduada para cada reactivo, agitando durante la operación.

Después de cinco minutos de mezclado lento, se pueden evaluar el tamaño relativo del flóculo, su uniformidad y la claridad del sobrenadante calificándolos mientras se sigue agitando; después se para la agitación para estimar las velocidades de asentamiento y a la vez corregir las calificaciones de la densidad del flóculo.

### Evaluación de las pruebas de frascos.

El sistema utilizado normalmente para calificación de las pruebas de frascos, se basa en un intervalo numérico de 0 a 10, usando un programa específico como "control"; dándole arbitrariamente valores de 5 a las características del flóculo y a la claridad del sobrenadante. (6)

Características del flóculo.- Los criterios básicos de evaluación son el tamaño y la uniformidad del flóculo; es muy importante la densidad y la velocidad de asentamiento de una agua y están limitadas por las partículas más pequeñas. Por tanto un frasco con flóculo grande y uniformemente distribuido es calificado con mayor puntuación que otro que contiene flóculo de gran variedad de tamaños.

Características del sobrenadante.- La característica más importante es la claridad del sobrenadante. Los frascos con agua más turbia se califican entre 0 y 5 y aquellos con agua más clara que el "control" se califican entre 5 y 10.

### Pruebas de laboratorio.

Se toman muestras del agua que se manda al desagüe durante un período de 20 días consecutivos, y con la planta trabajando-

IONES	OH <sup>-</sup>		CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>		Cl <sup>-</sup>		SiO <sub>2</sub>		Ca <sup>++</sup>		Mg <sup>++</sup>		Na <sup>+</sup>		DUREZA TOTAL		DUREZA PERMANENTE		DUREZA TEMPORAL		SOLIDOS SOLUBLES	SOLIDOS EN SUSP.
	MUESTRA	ppm	epm	ppm	epm	ppm	epm	ppm	epm	ppm	epm	ppm	epm	ppm	epm	ppm	epm	ppm	epm	ppm	epm	ppm	epm	ppm
1	31	1.8	48	1.6	236	4.9	362	10.2	36	1.2	56	2.8	6	0.5	350	15.2	165	3.3	60	1.2	105	2.1	1410	3985
2	46	2.7	48	1.6	245	5.1	373	10.5	42	1.4	100	5.0	7	0.6	329	14.3	185	3.7	75	1.5	110	2.2	1560	2210
3	49	2.9	42	1.4	314	6.5	323	9.1	24	0.8	40	2.0	6	0.5	400	17.4	80	1.6	30	0.6	50	1.0	1420	3575
4	58	3.4	42	1.4	436	9.1	433	12.2	36	1.2	216	10.8	6	0.5	340	14.8	570	11.4	475	9.5	95	1.9	2080	1520
5	116	6.8	72	2.4	654	13.6	554	15.6	38	1.3	212	10.6	2	0.2	635	27.6	540	10.8	410	8.2	130	2.6	2580	2140
6	54	3.2	27	0.9	714	14.9	451	12.7	40	1.3	256	12.8	7	0.6	421	18.3	670	13.4	595	11.9	75	1.5	2350	2410
7	95	5.6	66	2.2	714	14.9	493	13.9	48	1.6	314	15.7	4	0.3	474	20.6	800	16.0	675	13.5	125	2.5	2650	2220
8	90	5.3	54	1.8	588	12.2	539	15.2	28	0.9	248	12.4	12	1.0	485	21.1	665	13.3	525	10.5	90	2.8	2180	2400
9	104	6.1	42	1.4	871	18.1	1285	36.2	52	1.7	362	18.1	17	1.4	973	42.3	975	19.5	835	16.7	140	2.8	4330	1875
10	133	7.8	60	2.0	744	15.5	582	16.4	44	1.4	302	15.1	12	1.0	589	25.6	805	16.1	655	13.1	150	3.0	3080	940
11	48	2.8	24	0.8	669	13.9	383	10.8	36	1.2	232	11.6	7	0.6	370	16.1	610	12.2	540	10.8	70	1.4	2030	2315
12	42	2.5	72	2.4	408	8.5	561	15.8	22	0.7	130	6.5	11	0.9	487	21.2	370	7.4	165	3.3	205	4.1	1990	4535
13	114	6.7	42	1.4	614	12.8	440	12.4	32	1.1	190	9.5	8	0.7	531	23.1	510	10.2	405	8.1	105	2.1	2160	2180
14	197	11.6	120	4.0	868	18.1	845	23.8	60	2.0	584	29.2	20	1.7	612	26.6	1545	30.9	1260	25.2	285	5.7	4110	935
15	39	2.3	42	1.4	823	17.1	397	11.2	40	1.3	246	12.3	6	0.5	442	19.2	640	12.8	545	10.9	95	1.9	2230	2350
16	27	1.6	36	1.2	488	10.2	511	14.4	30	1.0	166	8.3	6	0.5	428	18.6	440	8.8	355	7.1	85	1.7	1870	1180
17	126	7.4	30	1.0	496	10.3	373	10.5	22	0.7	182	9.1	10	0.8	444	19.3	495	9.9	405	8.1	90	1.8	1880	1275
18	24	1.4	36	1.2	535	11.1	255	7.2	28	0.9	236	11.8	10	0.8	191	8.3	625	12.5	525	10.5	100	2.0	1720	1460
19	49	2.9	30	1.0	565	11.8	440	12.4	20	0.7	138	6.9	6	0.5	476	20.7	370	7.4	295	5.9	75	1.5	1950	1530
20	240	14.1	72	2.4	825	17.2	479	13.5	46	1.5	420	21.0	15	1.2	575	25.0	1110	22.2	930	18.6	180	3.6	3200	1125
PROM.	84	4.9	50	1.7	590	12.3	504	14.2	36	1.2	231	11.6	9	0.7	478	20.8	608	12.2	488	9.8	120	2.4	2339	2108

Gálculo de los reactivos.

Se calcularán para el promedio obtenido de los análisis mostrados en la tabla anterior.

I o n e s .	Agua cruda		Reactivos	
	p.p.m.	e.p.m.	Ca(OH) <sub>2</sub> e.p.m.	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> e.p.m.
OH <sup>-</sup>	84	4.9	-4.9	-4.9
CC <sub>3</sub> <sup>=</sup>	50	1.7		-1.7
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	590	12.3		
Cl <sup>-</sup>	504	14.2		
SiO <sub>2</sub>	36	1.2		
Ca <sup>++</sup>	231	11.6		11.6
Mg <sup>++</sup>	9	0.7	0.7	0.7
Na <sup>+</sup>	478	20.8		
Dureza total	608	12.2		
Dureza permanente	488	9.8		
Dureza temporal	120	2.4		
Exceso de reactivos			0.7	1.1
Total de reactivo			-3.5	6.8
Sólidos disueltos	2,339			
Sólidos en suspensión	2,108			

Además es necesario 0.6 p.p.m. de ayuda coagulante.

a su capacidad normal, obteniendo los resultados que se presentan en la tabla núm. 5, con los que se puede determinar el tipo de tratamiento necesario para poder recuperar dicha agua. (4)

Los principales problemas que habrá que resolver serán:

a).- Eliminación de los sólidos en suspensión.- La eliminación de los sólidos en suspensión se efectúa en el clarificador sin el uso de coagulante primario, ya que los sólidos en suspensión tienen un tamaño suficientemente grande para sedimentarse con la adición de un polielectrólito como ayuda coagulante. De acuerdo con las pruebas realizadas en el laboratorio, la dosificación necesaria y más económica corresponde a 0.6 p.p.m. de un polielectrólito ligeramente aniónico.

b).- Eliminación de la dureza.- Este problema se elimina igualmente en el clarificador empleando el método de suavización cal-carbonato, ya que en las pruebas de laboratorio es el más efectivo y económico. Para encontrar la dosificación necesaria de cal-carbonato se toma en cuenta los resultados de los análisis del agua y se calcula a partir de los mismos mostrando estos cálculos en la tabla núm. 6.

c).- pH.- La corrección del pH puede llevarse a cabo después de conocer las condiciones del agua suavizada, y podrán usarse diferentes reactivos químicos ya sean ácidos o básicos.

#### Aforo de las bombas del desagüe.

Para obtener el gasto de las bombas que sirven para el desagüe se empleó el sistema de aforo, para obtener la cantidad de agua que se bombea durante 24 horas, se empleó un amperímetro gráfico que determina el tiempo de bombeo de cada bomba.

Aforo de la bomba núm. 1.- Para el aforo de las bombas se emplea un canal cercano a la descarga de las mismas; este canal tiene una capacidad de  $5.12 \text{ m}^3$ . El tiempo promedio de llenado en 5 determinaciones fué de 3.96 minutos, lo cual dá un gasto de:

$$\frac{5.12 \text{ m}^3}{3.96 \text{ min}} = 1,293 \text{ m}^3/\text{min}; \quad 1,293 \text{ m}^3/\text{min} \times 60 \text{ min/hr} = \\ = 77.6 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Aforo de la bomba núm. 2.- Se empleó el mismo sistema que la bomba núm. 1, dando un tiempo promedio de llenado en 5 mediciones de 3.83 minutos lo cual dá un gasto de:

$$\frac{5.12 \text{ m}^3}{3.83 \text{ min}} = 1,336 \text{ m}^3/\text{min}; 1,336 \text{ m}^3/\text{min} \times 60 \text{ min/hr} = 80.2 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Según el amperímetro gráfico, durante 4 días consecutivos se tiene un promedio de 12 horas de trabajo para cada bomba; ésto se explica porque generalmente se tienen tiempos de bombeo alternados de una hora para cada bomba.

Con estos datos se pueden obtener los gastos promedios diarios de cada bomba.

Para la bomba núm. 1 se tiene:

$$77.6 \text{ m}^3/\text{hr} \times 12 \text{ hrs/día} = 931.2 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q = 931.2 \text{ m}^3/\text{día}$$

Para la bomba núm. 2 se tiene:

$$80.2 \text{ m}^3/\text{hr} \times 12 \text{ hrs/día} = 962.4 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q = 962.4 \text{ m}^3/\text{día}$$

Sumando estas dos cantidades se obtiene el gasto total promedio diario de agua que se manda al desagüe y es:

$$\underline{\underline{Q = 1,893.6 \text{ m}^3/\text{día}}}$$

Los resultados de los análisis hechos en el laboratorio y representados en condiciones medias, físicas y químicas, indicando las características del agua de desperdicio para ser tratada, mostrarán el camino a seguir para poder recuperar esa agua.

#### Cálculos.

La cantidad de agua a tratar será 1,893.6 m<sup>3</sup>/día, por lo que se tendrá un gasto de 1.32 m<sup>3</sup>/min.

#### Cálculo del clarificador.

Con este equipo se atacará el problema de la precipitación de los sólidos disueltos y la clarificación; ésto es, el agua se trata de acuerdo como pasa por el equipo. El equipo llamado del lecho suspendido, debido a su alta eficiencia, menores tiem

pos de retención, y menor espacio requerido es el más usual en el campo industrial. Este tipo de ablandadores se ha fabricado en un número apreciable de diseños diferentes, y el principio básico es que el agua tratada se filtra en flujo ascendente a través de un lecho de lodos suspendidos formado de los precipitados previamente sedimentados. Hay varias ventajas obtenidas por este procedimiento:

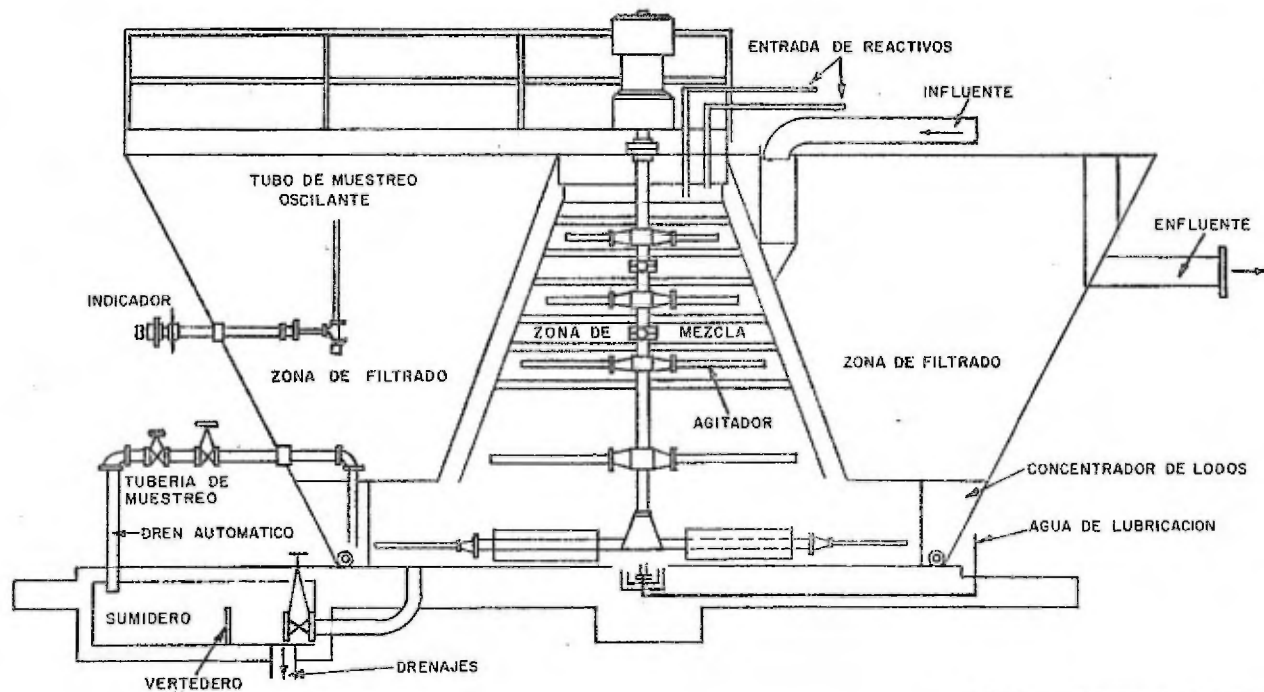
Primero.- En la práctica, la mayoría de la cal usada en cualquier tipo de equipo, se dosifica en forma de suspensión. En el tipo de equipo convencional, algo de esta suspensión se arrastra por los precipitados formados antes de tener tiempo de disolverse y reaccionar con la dureza del agua, de manera que algo de la cal se desperdicie. En el tipo de equipo del lecho suspendido esto no sucede debido a la filtración ascendente a través del lecho de precipitados.

Segundo.- En el equipo del lecho suspendido el contacto del agua tratada con grandes masas en la fase sólida, previene la supersaturación y la formación de precipitaciones posteriores.

Tercero.- La filtración ascendente y la ausencia de precipitados posteriores, conducen a la obtención de efluentes que son suficientemente claros para muchas aplicaciones industriales.

En la figura núm. 5 se muestra una vista transversal de un ablandador de cal-carbonato en frío del lecho suspendido con diseño vertical. Como se muestra en esta vista, la cámara posterior consiste en una sección cónica en la que su parte mayor está dispuesta hacia arriba, mientras que la cámara interior es una sección piramidal cónica que tiene su paso hacia abajo. El agua cruda y las sustancias químicas se introducen en la parte superior de la cámara interior donde se mezclan por medio de un agitador mecánico dispuesto en la parte central. Los dosificadores usados pueden ser del tipo seco o húmedo. En los alimentadores de tipo húmedo, la cal hidratada se alimenta en forma de suspensión. Cuando también se requiere carbonato de sodio usualmente se disuelve y se agrega con la suspensión de cal en lugar de añadirse separadamente. El coagulante se disuelve y - -

# PRECIPITADOR VERTICAL DE LECHO SUSPENDIDO



FAC. DE QUIMICA	UNAM
PRECIPITADOR DE	DIB. 5
LECHO SUSPENDIDO	TESIS



alimenta por medio de un dosificador separado.

El agua tratada con estos precipitados obtenidos, fluye lentamente hacia el fondo de la cámara interior y de ahí emerge por una serie de rendijas y cambia el sentido del flujo empezando a subir lentamente por la cámara exterior. A medida que el agua asciende por la cámara exterior su velocidad en la parte inferior es suficiente para mantener los precipitados en suspensión. Debido a este diseño, el área transversal de la cámara exterior aumenta constantemente del fondo a la parte superior. Consecuentemente, la velocidad vertical del agua tratada disminuye y constantemente también del fondo a la parte superior. Finalmente se llega a un nivel, en el que un volumen dado de lodos y un gasto dado de agua, son incapaces de expandir el lecho de lodos suspendidos más allá de cierta altura. Esto determina el nivel superior de los lodos, y en la práctica hay una clara línea de demarcación entre la parte superior de los lodos y el principio de la zona de aguas claras; las que se colectan en la parte superior y pueden pasar directamente al servicio. El nivel de los lodos se mantiene constante purgando cierta cantidad de ellos equivalente a la velocidad con que se forman; esto puede ser automáticamente. (7)

#### Cálculos.

Se le asignará un tiempo de retención de una hora pudiendo aumentar su capacidad aumentando la dosificación de ayudas coagulantes.

$$\text{Tiempo de retención} = \Theta = 60 \text{ min}$$

$$\text{Gasto promedio} = Q = 1.32 \text{ m}^3/\text{min}$$

Por lo que el volumen del clarificador será:

$$V = Q \times \Theta = 1.32 \text{ m}^3/\text{min} \times 60 \text{ min}$$

$$V = 79.2 \text{ m}^3$$

La Permutit Co. recomienda para la zona de clarificación - la siguiente relación de diámetros: (1)

$$\frac{D_e}{D_i} = 3.34$$

Por medio de tanteos se encontró que para el volumen del clarificador igual a  $79.2 \text{ m}^3$ , la sección en la zona de clarifi-

cación es igual a  $33.0 \text{ m}^2$ .

$$S = 33.0 \text{ m}^2$$

$$S = \frac{\pi (D_e^2 - D_i^2)}{4} = 0.785 (3.34^2 D_1^2 - D_i^2)$$

$$S = 7.97 D_i^2$$

$$D_i^2 = \frac{S}{7.97} = \frac{33.0}{7.97} = 4.14 \text{ m}^2; D_i = 2.03 \text{ m}$$

$$D_e = 3.34 \times D_i = 3.34 \times 2.03 = 6.78 \text{ m}$$

$$D_1 = 1.14 \times D_e = 1.14 \times 6.78 = 7.72 \text{ m} = 2R$$

$$D_2 = 1.72 \times D_i = 1.72 \times 2.03 = 3.50 \text{ m} = 2r$$

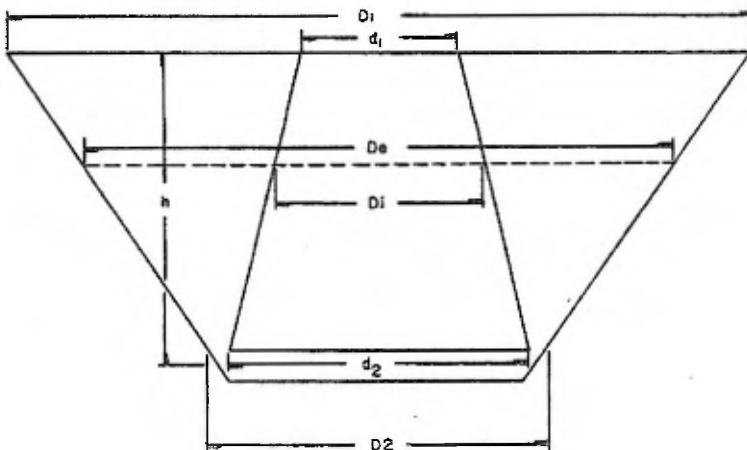
$$h = 1.55 \times D_i = 1.55 \times 2.03 = 3.14 \text{ m} = d_2$$

$$V = \pi \cdot \frac{h}{3} (R^2 + Rr + r^2)$$

$$V = 3.14 \cdot \frac{3.14}{3} (3.86^2 + 3.86 \times 1.75 + 1.75^2)$$

$$V = 3.01 (14.90 + 6.75 + 3.06) = 3.26 \times 24.71$$

$$V = 81.05 \text{ m}^3.$$



Cálculo del volumen de la solución de ayuda coagulante.

Se necesitan 0.6 p.p.m. de ayuda coagulante, o sea, se necesitan 0.6 g de ayuda por metro cúbico de agua tratada.

La cantidad de ayuda coagulante teóricamente necesaria es de 1.14 kg/día.

Se propone tener una solución al 0.6%, o sea, 6 g por litro y la cantidad de agua para la solución será:

$$\frac{1.14 \times 10^3}{6} = 190 \text{ l}$$

La densidad de la ayuda coagulante es de 0.697 g/ml, y el volumen que ocupan los 1.14 kg será:

$$\frac{1.14}{0.697} = 1.6 \text{ l}$$

El volumen total de la solución será:

$$190 + 1.6 = 191.6 \text{ l}$$

Se propone tener un tanque con las siguientes dimensiones:

$$\text{Diámetro} = 0.80 \text{ m}$$

$$\text{Altura} = 0.90 \text{ m}$$

$$\text{Volumen} = 0.45 \text{ m}^3$$

Se escoge esta relación de diámetro-altura por ser la más recomendable para tanques de agitación.

Para este tipo de solución es conveniente tener un tanque de preparación y un tanque de alimentación pudiendo ser de la misma capacidad. Por lo tanto se necesitará hacer una preparación cada 2 días.

Cálculo del agitador para la solución.

Se propone un agitador de turbina ya que son recomendados para usarse en una amplitud de viscosidades y en este caso se tiene una variación de viscosidad considerable, que comienza con la viscosidad del agua que es un cps., y alcanza una viscosidad de la solución de aproximadamente 190 cps. (5)

Los datos para el cálculo del agitador son:

$$D_a = 0.25 \text{ m}$$

Diámetro de la turbina.

$$n = 480 \text{ r.p.m.} = 8 \text{ r.p.s.}$$

Velocidad de la turbina.

$$\mu = 190 \text{ cps} = 190 \times 10^{-3} \text{ kg/m-sec}$$

Viscosidad.

$$\rho = 997 \text{ kg/m}^3$$

Densidad

$$g = 9.81 \text{ m/seg}^2$$

Aceleración de la -  
gravedad.

Por lo tanto el número de Reynolds será:

$$NRe = \frac{Da^2 n \rho}{\mu} = \frac{0.25^2 \times 8 \times 997}{190 \times 10^{-3}} = 2,623$$

Y para el número de Froude se tiene:

$$NFr = \frac{n^2 Da}{g} = \frac{8^2 \times 0.25}{9.81} = 1.63$$

De las ecuaciones y tablas del Mc.Cabe:

$$\text{Ec. - 9.13} \quad m = \frac{a - \log NRe}{b}$$

$$\text{Ec. - 9.14} \quad P = \frac{\phi NFr^m n^3 Da^5 \rho}{g}$$

De la tabla 9.1

$$a = 1.0$$

$$b = 40.0$$

$$m = \frac{1.0 \log 2,623}{40} = 0.06$$

De la curva B (fig. 9-14) para  $NRe = 2,623$ ,  $\phi = 1.7$  y substituyendo en la ecuación 9.14:

$$P = \frac{1.7 \times 2.55^{-0.06} \times 8^3 \times 0.25^5 \times 997}{9.81} = 86.38 \text{ m kg/seg}$$

$$P = \frac{86.38}{75.7} = 1.14 \text{ HP}$$

Se deberá poner un motor de 1.5 HP.

Cálculo del volumen de la solución.

La cantidad de carbonato de sodio teóricamente necesaria es de 661.7 kg/día, o sea, 227.2 kg/turno de 8 horas.

La densidad del carbonato de sodio es de 1.5 g/ml. El volumen que ocupan los 227.2 kg es de:

$$\frac{227.2}{1.5} = 151.4 \text{ l}$$

Se propone tener una solución de 250 g/l. La cantidad de agua necesaria para la solución es:

$$\frac{227.2 \times 10^3}{250} = 908.8 \text{ l}$$

El volumen total de la solución química necesaria para un turno de 8 horas será:

$$908.8 + 151.4 = 1,060.2$$

Se propone tener 2 tanques con las siguientes dimensiones:

Diámetro = 1.14 m

Altura = 1.20 m

Volumen = 1.22 m<sup>3</sup>

Como se trata de una solución es conveniente tener un tanque de preparación y un tanque de alimentación, siendo ambos de la misma capacidad. Por lo tanto se necesita hacer una preparación para cada turno de 8 horas.

Cálculo del agitador para la solución de carbonato de sodio.

Se propone un agitador de turbina por ser recomendado para obtener mejor eficiencia en la agitación. (5)

Los datos para el cálculo del agitador son:

$D_a = 0.30 \text{ m}$	Diámetro de la turbina
$n = 300 \text{ r.p.m.} = 5 \text{ r.p.s.}$	Velocidad de la turbina.
$\mu = 10 \text{ cps} = 10 \times 10^{-3} \text{ kg/m-sec}$	Viscosidad de la suspensión.
$\rho = 1,100 \text{ kg/m}^3$	Densidad de la suspensión.
$g = 9.81 \text{ m/seg}$	Aceleración de la gravedad.

Por lo tanto NRe será:

$$NRe = \frac{D_a^2 n \rho}{\mu} = \frac{0.3^2 \times 5 \times 1,100}{10 \times 10^{-3}} = 49,500$$

$$NFr = \frac{n^2 Da}{g} = \frac{5^2 \times 0.3}{9.81} = 0.76 \quad \text{No. de Froude.}$$

De las ecuaciones y tablas del Mc.Cabe.

$$\text{Ec. - 9.13} \quad m = \frac{a - \log NRe}{b}$$

$$\text{Ec. - 9.14} \quad P = \frac{\phi NFr^m n^3 Da^5 \rho}{g}$$

$$\begin{aligned} \text{De la tabla 9.1} \quad a &= 1.0 \\ b &= 40.0 \end{aligned}$$

$$m = \frac{1.0 - \log 49,500}{40.0} = 0.92$$

De la curva B (fig. 9-14) para  $NRe = 49,500$ ,  $\phi = 1.1$  y -  
sustituyendo en la ecuación 9-14:

$$P = \frac{1.1 \times 0.76^{-0.92} \times 5^3 \times 0.3^5 \times 1,100}{9.81} = 44.8 \text{ m kg/seg}$$

$$P = \frac{44.8}{75.7} = 0.59\text{HP}$$

Se deberá poner un motor de 1 HP.

CAPITULO IV

Estudio Técnico Económico.

IV.- ESTUDIO TECNICO ECONOMICO.

Los factores económicos que deben tomarse en cuenta para efectuar el tratamiento son los siguientes:

- a).- Costo de la energía requerida para el bombeo, mezclado, dosificación y coagulación.
- b).- Costo de los reactivos químicos.
- c).- Salario de los operadores.
- d).- Costo del equipo.

a).- El costo de la energía por concepto de bombeo estará compuesto por el bombeo de las aguas de desecho al sistema de tratamiento y el bombeo del agua clarificada al depósito.

En el caso del bombeo de las aguas de desecho, las 2 bombas son de 15 HP c/u. por lo que se tiene:

Gastos de operación = energía por costo de la energía por tiempo trabajado.

$$G.O. = KW \times \$/KWH \times hr/año$$

$$\text{Energía en KW} = HP \times 0.745 = 15 \times 0.745 = 11.18 \text{ KW}$$

De acuerdo con la tarifa de la Cía. de Luz y Fuerza, el costo del KWH es de \$ 0.23 en promedio para las industrias.

El tiempo trabajado en el año es de aproximadamente 300 días, ya que se descansan los domingos y aparte hay un período para mantenimiento, por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo trabajado en el año} &= 300 \times 24 \text{ hrs/día} \\ &= 7,200 \text{ hrs} \end{aligned}$$

$$G.O. = 11.18 \text{ KW} \times \$0.23/\text{KW} \times 7,200 \text{ hrs} = \$ 18,514.08$$

$$G.O. = \$ 18,514.08$$

Para el bombeo del agua clarificada al depósito se usará una bomba similar a la del pozo para así poder tener las mismas condiciones en la línea, ya que se pondrá una línea directa al tanque de almacenamiento general y un ramal a la línea del sistema de distribución. Por lo tanto tendremos:

$$G.O. = KW \times \$/KWH \times \text{tiempo en horas}$$



$$KW = 40 \times 0.74 = 29.8$$

$$\$/KWH = 0.23$$

$$\text{Horas} = 7,200$$

$$G.O. = 29.8 \times 0.23 \times 7,200 = \$ 49,348.80/\text{año}$$

Costo del mezclado.

Para el mezclado de la ayuda coagulante se cuenta con un agitador de 1.5 HP que trabajará como máximo 2 horas cada 2 días, por lo tanto:

$$G.O. = KW \times \$/KWH \times \text{tiempo en horas}$$

$$KW = 1.5 \times 0.745 = 1.12$$

$$\$/KWH = 0.23$$

$$\text{Horas} = 2 \times 150 = 300$$

$$G.O. = 1.12 \times 0.23 \times 300 = \$ 77.28/\text{año}$$

Para la solución química se necesitará un tanque de agitación con un agitador de 1.0 HP trabajando aproximadamente 3 horas al día o sea, 1 hora por cada turno de 8 horas.

$$G.O. = KW \times \$/KWH \times \text{tiempo en horas}$$

$$KW = 1.0 \times 0.745 = 0.745$$

$$\$/KWH = 0.23$$

$$\text{Horas} = 300 \times 3 = 900$$

$$G.O. = 0.745 \times 0.23 \times 900 = \$ 154.21/\text{año}$$

Costo de la dosificación.

Para la dosificación se contará con 2 bombas de 0.25 HP - las que trabajarán al mismo tiempo y continuamente, por lo que se tiene:

$$G.O. = KW \times \$/KWH \times \text{tiempo en horas}$$

$$KW = 0.5 \times 0.745 = 0.372$$

$$\$/KWH = 0.23$$

$$\text{Horas} = 7,200$$

$$\text{G.O.} = 0.372 \times 0.23 \times 7,200 = \$ 610.03/\text{año}$$

Costo de la coagulación.

Se necesita un motor de 2 HP que trabajará continuamente -  
o sea 7,200 hrs/año.

$$\text{G.O.} = KW \times \$/KWH \times \text{tiempo en horas}$$

$$KW = 2.0 \times 0.745 = 1.44$$

$$\$/KW = 0.23$$

$$\text{Horas} = 7,200$$

$$\text{G.O.} = 1.49 \times 0.23 \times 7,200 = \$ 2,467.44/\text{año}$$

El costo de la energía será:

Costo por bombeo	\$ 67,862.88
Costo por mezclado	231.49
Costo por dosificación	610.03
Costo por coagulación	2,467.44
Costo total de energía anual	<u>\$ 71,171.84</u> -----

b).- Costo de los reactivos químicos.

Se tomará como base 1,000 m<sup>3</sup> de agua tratada.

Para la clarificación primaria se emplea como dosis 0.6 -  
p.p.m. de ayuda coagulante. Por lo tanto para 1,000 m<sup>3</sup> se necesi-  
tarán 0.6 kg y el precio de la ayuda coagulante es de - - -  
\$ 28.00/kg.

$$\text{Costo de la ayuda coagulante} = \$ 16.80/1,000 \text{ m}^3$$

Para la suavización se emplea una dosis de carbonato de so-  
dio igual a 360 p.p.m. (6.8 e.p.m.), o sea, se necesitan - - -

360 kg/1,000 m<sup>3</sup>. Su precio es de \$ 0.85/kg y su pureza es de 95%.

$$\begin{aligned} \text{Costo del carbonato de sodio} &= 360 \times 0.85 \times 1/0.95 = \\ &= \$ 321.30/1,000 \text{ m}^3. \end{aligned}$$

El costo total de los reactivos será:

$$16.80 + 321.30 = \$ 338.10/1,000 \text{ m}^3$$

Como se tratan 1,893.6 m<sup>3</sup>/día de agua, se tiene:

$$1,893.6 \times 338.10/1,000 = \$ 640.22/\text{día}; \text{ al año serán:}$$

$$640.22 \times 300 = \$ 192,066/\text{año.}$$

c).- Salario de los operadores.

Se necesitan 2 personas por turno; un operador y un ayudante, o sea, un total de 6 personas para los 3 turnos.

El sueldo promedio para los trabajadores es el siguiente:

$$\text{Operador} = \$ 40.00/\text{día}$$

$$\text{Ayudante} = \$ 35.00/\text{día}$$

Por lo tanto el sueldo anual de los trabajadores será:

$$\text{Operadores} = \$ 40.00 \times 3 \times 365 = \$ 43,800.00$$

$$\text{Ayudantes} = \$ 35.00 \times 3 \times 365 = \$ 38,235.00$$

$$\underline{\$ 82,125.00/\text{año.}}$$

d).- Costo del equipo.

<u>E q u i p o</u>	<u>Capacidad</u>	<u>Costo</u> <u>Unitario</u>	<u>Costo</u> <u>Total</u>
1 floculador precipitador de concreto armado	81.05 m <sup>3</sup>	70,000.00	70,000.00
2 tanques de acero inoxidable para dosificación y preparación de la ayuda coagulante	0.45 m <sup>3</sup>	3,600.00	7,200.00

<u>E q u i p o</u>	<u>Capacidad</u>	<u>Costo Unitario</u>	<u>Costo Total</u>
2 tanques de acero inoxidable para dosificación y preparación de la solución de reactivo	1.22 m <sup>3</sup>	4,750.00	9,500.00
4 válvulas de compuerta	6 pulg	750.00	3,000.00
1 tanque de almacenamiento para el agua tratada de concreto armado	20.0 m <sup>3</sup>	21,000.00	21,000.00
300 metros de tubería de asbesto cemento (costo por metro lineal instalado)	6 pulg	54.72	16,416.00
7 codos de asbesto cemento a 90°	6 pulg	128.00	896.00
1 agitador de turbina con motor monofásico - - - 115/220 V	1.5 HP	13,165.00	13,165.00
1 agitador de turbina con motor monofásico - - - 115/220 V	1.0 HP	12,180.00	12,180.00
2 bombas dosificadoras de pistón con motor monofásico 115/220 V	0.25 HP	9,180.00	18,216.00
20 metros de tubería de PVC (costo por metro lineal instalado)	1.5 pulg	12.20	244.00
3 válvulas de compuerta	1.5 pulg	24.00	72.00
1 bomba centrífuga	1.35 m <sup>3</sup> /min	24,500.00	24,500.00
1 motor eléctrico trifásico 220/440 V	40.0 HP	18,500.00	18,500.00

<u>E q u i p o</u>	<u>Capacidad</u>	<u>Costo Unitario</u>	<u>Costo Total</u>
1 agitador de paletas con motor trifásico - - - 220/440 V	2.0 HP	15,700.00	<u>15,700.00</u>
Costo total del equipo			\$ 246,089.00
Para gastos imprevistos, 10% del costo total del equipo			24,609.00
Costo de instalación del equipo 5% del costo total			<u>12,305.00</u>
Costo del equipo ya instalado			<u>\$ 283,003.00</u> =====

Costos fijos anuales.

Salarios más prestaciones		\$ 82,125.00
Depreciación del equipo 10% del costo total		28,300.00
Seguros 1% del costo total		<u>2,830.00</u>
		<u>113,255.00</u>

Costos variables anuales.

Costo de la energía eléctrica	\$ 71,172.00	
Costo de los reactivos	192,066.00	
Mantenimiento 2% del costo del equipo (3)	5,660.00	
Limpieza de los depósitos de lodos y acarreos	<u>3,000.00</u>	<u>271,898.00</u>
		<u>\$ 385,153.00</u> =====

Costo del metro cúbico de agua tratada

$$\frac{\$ 385,153.00}{1,893.6 \text{ m}^3/\text{día} \times 300 \text{ días}} = \$ 0.68/\text{m}^3$$

La recolección de datos sobre precios de equipos y reacti-

vos se hizo con el auxilio del Departamento de Compras de la -  
compañía, los cuales fueron proporcionados por las siguientes -  
empresas: Distribuidora de Productos Industriales, S. A., Equi-  
pos e Instrumentos Químicos, S. A., Equipos Inoxidables Azteca,  
S. A. y Nalco de México, S. A.

La información técnica de la ayuda coagulante es la si - -  
guiente: Polímero de poliacrilamida soluble en agua, apariencia  
polvo blanco, densidad 0.695 g/cm<sup>3</sup>, peso molecular mayor de un-  
millón, pH (solución al 1%) neutro.

Al final del tratamiento se contará con una agua con las -  
siguientes características aproximadamente:

E F L U E N T E

I o n e s	p.p.m.	e.p.m.
OH <sup>-</sup>	85	5.0
CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	60	2.0
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	576	12.0
Cl <sup>-</sup>	497	14.0
SiO <sub>2</sub>	30	1.0
Ca <sup>++</sup>	32	1.0
Mg <sup>++</sup>	5	0.4
Na <sup>+</sup>	667	31.0
Dureza total	120	2.4
Dureza permanente	0	0.0
Dureza temporal	120	2.4
Sólidos disueltos	2,400	
Sólidos en suspensión	0	

CAPITULO V

C o n c l u s i o n e s .

### V.- Conclusiones.

Si se toman en cuenta los beneficios posibles al llevar a cabo la realización de este estudio, se puede estimar que el costo del tratamiento del agua no es elevado, aún más si se compara con el costo del agua tanto en el Distrito Federal como en la zona industrial del Estado de México en que se encuentra ubicada la planta. El costo del tratamiento es de \$ 0.68/m<sup>3</sup>. El costo del agua según la tarifa del Departamento del Distrito Federal para volúmenes mayores de 500 m<sup>3</sup> por bimestre es de . . . \$ 1.50/m<sup>3</sup> y según la Ley de Hacienda Municipal en el Estado de México, la tarifa autorizada para el agua industrial es de . . . \$ 1.00/m<sup>3</sup>.

A continuación se enumeran los principales beneficios posibles:

- 1.- Obtención de un efluente de una calidad aceptable ya que se eliminan considerablemente los sólidos disueltos y los sólidos en suspensión, evitando con ésto, problemas subsecuentes en las tuberías de incrustaciones.
- 2.- Con la recuperación de las aguas de desperdicio se puede preveer cualquier ampliación y aumento de la producción teniendo en cuenta que los abastecimientos actuales no alcanzarían a cubrir las demandas necesarias.
- 3.- Recuperación de los sólidos en suspensión para su utilización en la fabricación de los productos de asbesto cemento. Si se considera que el agua a tratar contiene en promedio 2,108 p.p.m. de sólidos, o sea 0.21% y si se tratan 1,097.6 m<sup>3</sup>/día se podrán recuperar en promedio 5 ton/día; lo que se podrá considerar como un ahorro en el tratamiento del agua.
- 4.- Eliminación de substancias disueltas en suspensión que pueden contaminar las aguas del emisor poniente que es donde se arrojan las aguas de desperdicio de la planta. La Secretaría de Recursos Hidráulicos tiene como una de sus funciones, vigilar y evitar contaminaciones de las aguas de dicho emisor, obligando a las indus -



trías para que las aguas de desperdicio que se arrojen a los emisores, tengan un tratamiento previo lo que también representaría un gasto para la empresa.

- 5.- Otro punto muy importante es que el Valle de México y el Distrito Federal tienen como uno de sus principales problemas, la falta de agua y si la mayoría de las empresas recuperaran sus aguas de desperdicio se solucionaría en gran parte dicho problema.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Argüello C. H. "Anteproyecto de una planta de recuperación de agua de drenaje industrial". Tesis Facultad de Química.- México (1959).
- 2.- Berger H. "Asbestos Fundamentals". Chemical Publishing Company, Inc. New York (1963).
- 3.- Gutiérrez A. F. "Los estados financieros y su análisis". - Fondo de Cultura Económica. México (1965).
- 4.- Kolthoff, I. M. "Textbook of Quantitative Inorganic Analysis". The MacMillan Company. New York (1956).
- 5.- McCabe W. L., J. C. Smith. "Unit Operations of Chemical Engineering". MacGraw Hill Book Company, Inc. New York (1965).
- 6.- Malco Chemical Company. "Conditioning Water for Boilers". - Chicago, Ill. (1962).
- 7.- Nordell, W., "Water Treatment for Industrial and Other - - Uses". Reinhold Publishing Corporation. New York (1961).
- 8.- Powell, S. T., "Water Conditioning for Industry". MacGraw - Hill Book Company, Inc. New York (1954).
- 9.- Waganoff N. P. "Asbestocemento". Ediciones Librería del Colegio. Buenos Aires, Argentina (1952).