

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA SANITARIA

PRACTICAS RECOMENDABLES PARA EL DISEÑO Y
OPERACION DE FILTROS DE TIERRA DE DIATOMEAS
EN LA OBTENCION DE AGUA POTABLE

TESIS DE GRADO PARA OPTAR EL TITULO
DE INGENIERO SANITARIO
POR EL EX-ALUMNO

LUIS CHANG REYES

TOMO I

PROMOCION 1961

LIMA - PERU

AGOSTO - 1962

I INTRODUCCION

A.- HISTORIA.-

Un filtro a base de tierras diatomeas es un aparato utilizado para remover las impurezas que se encuentran en el agua al ser ésta filtrada mecánicamente a través de una capa de estas tierras.

A pesar de que la filtración de líquidos a través de tierras de diatomeas ha sido extensamente practicado en la industria química por muchos años, su uso para la producción de agua potable es relativamente reciente.

Poco antes de la segunda guerra mundial varias industrias se encontraban comprometidas, aunque en muy pequeña escala, en el desarrollo de filtros a base de tierras de diatomeas pero ningún modelo fué comercialmente posible durante este período.

Durante la campaña del Guadalcanal, en la segunda guerra mundial, el ejército de los Estados Unidos utilizaba el equipo de purificación a base de filtros de arena a presión. Equipo Standard en la obtención de agua potable para las tropas en el campo, pero este era inefectivo para la esterilización de los quistes de la Entamoeba Histolytica ó

para su remoción del agua. El ejército de los Estados Unidos reconoció inmediatamente que era necesario un cambio, e instigó un programa acelerado en los Laboratorios de Desarrollo e Investigaciones de Ingeniería del Ejército de los Estados Unidos, hacia un desarrollo más adecuado en los equipos de purificación de agua. Como el factor tiempo era lo más importante en el desarrollo de un sustituto en los métodos de tratamiento de agua un largo período de investigaciones y desarrollos no hubiera sido adecuado.

El cuerpo de Ingeniería se procuró entonces de la industria varios filtros experimentales de tierras de diatoméas y combinando las ventajas de todos los modelos, convirtieron un tipo Standard de filtro de arena en un prototipo de filtros de diatoméas.

Un corto período de pruebas indicaron que un filtro de diatoméas, cuando era operado correctamente, podría remover prácticamente todos los quistes de la Entamoeba Histolytica del agua, a promedios realmente satisfactorios. Así los filtros adoptados por el ejército tuvieron un buen éxito.

Después de la segunda guerra mundial, varias clases de filtros de agua a base de tierras de dia-

toméas fueron producidos para usos civiles. Así investigadores como Black y Spaulding (1), describieron los éxitos del desarrollo en tiempo de emergencia de los filtros a presión, estimulando en ésta forma el desarrollo posterior de estos filtros para producir agua potable.

Como resultado de las investigaciones, varios fabricantes comerciales reconocieron las ventajas de los filtros de diatoméas para filtrar agua. Ellos comenzaron a lanzar al mercado varios tipos de estos filtros especialmente para el tratamiento de aguas en piscinas. Sin embargo, el concepto de filtración de agua por tierras de diatoméas recibió un retroceso como resultado del uso de estos modelos iniciales. Generalmente ellos fueron producidos sin investigaciones suficientes en los principios de operación de estos filtros. Muchos de estos modelos comerciales dieron servicios poco satisfactorios por su diseño, operación y mantenimiento poco apropiados.

Los filtros a presión por diatoméas ha sido usado extensamente para la filtración de agua y a pesar de que ambos: los filtros a presión y al vacío han encontrado gran aceptación en el campo de las piscinas, la reacción a el uso de estos filtros en

abastecimientos municipales de agua es muy variado, pero ellos están ganando lentamente aceptación por los departamentos de Salud Pública encargados de la aprobación de este sistema.

La técnica ha sido estudiada por varios investigadores pero existe aún mucho desconocido o no entendido acerca de la filtración por diatoméas. Cuando la economía y facilidades hayan aprobado la bondad de éste método. Estos filtros serán indudablemente usados en más instalaciones.

Varias organizaciones de Salud Estatales en los Estados Unidos aprueban su uso, otras han mostrado interés y las demás han adoptado una política de observación y espera.

B.- PROPOSITO DE LA TESIS.-

A pesar de la falta de éxitos en el uso de los filtros de diatoméas en aplicaciones municipales, la industria continúa expandiéndose. Los filtros de diatoméas son actualmente utilizados: en las fuerzas armadas de los Estados Unidos, en la industria, en piscinas y recientemente para la filtración de agua en plantas municipales. El uso de estos filtros en plantas municipales presenta nuevos y poco familiares problemas en instalación, diseño y operación.

Consideraciones apropiadas en el diseño de un filtro de diatoméas es posible, sólo cuando el ingeniero consultor posee los resultados de cuidadosas y completas pruebas de campo. Tales resultados son de gran valor, ya que sintetiza todo lo concerniente al problema. Un report completo debe cubrir todas las siguientes consideraciones, además de datos particulares sobre problemas pocos usuales:

- 1.- Exposición del problema.
- 2.- Consideraciones Generales.
 - a) Población, presente y futura.
 - b) Area servida, presente y futura.
 - c) Datos Topográficos.
 - d) Causas que nos impulsan a utilizar este filtro.
- 3.- Fuentes de Abastecimiento de Agua.
 - a) Fuentes posibles.
 - b) Records de análisis de agua.
 - c) Métodos de tratamiento de agua, ya sea por sedimentación ó por coagulación.
 - d) Características del agua entregada a los filtros.
 - e) Descripción de las instalaciones existentes.
 - f) Métodos de operación y control de la planta.

4.- Consumo de Agua.

- a) Número de personas y porcentaje de la población que usa agua potable.
- b) Suposiciones con respecto a:
 - 1- Consumo promedio diario.
 - 2- Consumo máximo diario.
 - 3- Variaciones en consumo, horario, diario y temporal.
 - 4- Demanda para incendios y duración.

La disponibilidad de estos datos pertinentes a una instalación específica no son suficientes para asegurar un diseño adecuado de filtro de tierras de diatoméas.

El ingeniero necesita también entender y saber como aplicar los principios que gobiernan la operación económica y efectiva de un filtro de diatoméas.

Los propósitos de esta Tesis son:

- 1.- Descripción de los principios generales sobre los que se basan los filtros de tierras de diatoméas.
- 2.- Descripción de varios tipos de filtros y sus accesorios.
- 3.- Explicación sobre la función de los accesorios del filtro y su importancia en la filtración.

- 4.- Sugerir un procedimiento para hacer pruebas de campo sobre la calidad del agua y un procedimiento para determinar las áreas de filtración, promedios de flujo y pérdidas de carga máximas.
- 5.- Establecer procedimientos a ser seguidos en la operación de filtros de diatoméas.
- 6.- Resumir las recomendaciones y conclusiones sobre todas las investigaciones importantes publicadas referente a la aplicación de filtros de diatoméas en abastecimientos de agua en instalaciones municipales.

C.- INVESTIGACIONES REALIZADAS.-

A pesar de que relativamente poca información ha sido publicada hasta la fecha concerniente al diseño y operación de filtros de diatoméas, esos investigadores que han sido reportados, han contribuido considerablemente a el entendimiento de la filtración de agua a través de diatomita.

En 1944, Black y Spaulding (1) reportaron sobre la aplicación exitosa de filtros de diatomeas en la filtración de agua para las tropas en el campo. Ellos concluían que los filtros de diatoméas tienen ventajas sobre los convencionales filtros

rápidos de arena en la calidad de agua obtenida y en la capacidad de los filtros por unidad de peso y volúmen. Ellos encontraron que la aplicación de un "Cuerpo Alimentador" es necesario para una filtración económica y que el pretratamiento consistente de coagulación y sedimentación es efectivo en producir un efluente de claridad uniformes. Sin embargo, Black y Spaulding concluyeron que desde que un convencional filtro rápido de arena alcanzado un alto estado de desarrollo, él no podrá ser reemplazado en la actualidad por los filtros de diatomeas en aplicaciones que no sean militares.

En 1953, Baumann y asociados trabajando en la Universidad de Illinois realizaron intensos estudios durante seis años. Estos estudios versaron sobre: factores que afectan al revestimiento primario (precoat) ó lavado y características hidraulicas de las cribas. Estudios sobre los factores que afectan la permeabilidad de las ayudas filtrantes. Estudios teóricos y prácticos del cuerpo alimentador y la operación de unidades de pretratamiento.

Como resultado de los éxitos de filtros de diatomeas en aplicaciones militares, los filtros fueron usados para usos públicos primeramente en piscinas. Engle (3), estableció que la filtración de agua en

piscinas ha encontrado gran acogida.

Kiker (4), describió los resultados sobre una investigación en la piscina de la Universidad de Florida, en el cual se usó filtros de diatomeas, para la filtración de agua de baja turbiedad sin la adición de coagulantes. La eficiencia fué practicamente del 100% en la remoción de turbiedad. Durante la investigación, el uso de la ayuda filtrante de un día anterior de operación fué reusada en varios momentos sin ningún efecto perjudicial en la claridad del efluente.

Las investigaciones de ambos Engle y Kiker indicaron que los filtros de diatomeas utilizados sin un previo tratamiento de el influente podría ser más eficiente y económica para la filtración de aguas en piscinas.

En 1950, Pegg (5) reportó la historia, de el desarrollo, pruebas y aceptación final de una planta municipal de agua utilizando filtros de diatoméas en el valle de Cherry, New York. Las pruebas convencieron al Departamento de Salud del Estado de New York, que los filtros de diatomeas eran dignos de confianza para el tratamiento de abastecimientos de aguas municipales. Pegg entonces superintendente de agua en el valle de Cherry, incluyó en su

report; el diseño y los trabajos de Ingeniería así como también costos.

Las primeras y más extensas investigaciones concernientes a la aplicabilidad de los filtros de diatomeas en filtración de abastecimientos de agua municipales fueron hechos por Sanchis (6) y Merrel en 1951. La investigación fué llevada a cabo como parte de un programa general de tratamiento de agua por la División de Ingeniería Sanitaria de Los Angeles en California.

El report de Sanchis y Merrel presenta el diseño del filtro y los datos de operación concerniente al uso de filtros de diatoméas para remover sabor y olor causados por la descomposición de los crecimientos de plankton. Se llegó a la conclusión que para las condiciones locales del reservorio en Los Angeles, filtración por diatoméas es un método efectivo para producir agua de calidad comparable a la producida por métodos convencionales. Una figura atractiva de los filtros de diatoméas es que ésta produce un efluente satisfactorio sin el uso de productos químicos. Sanchis y Merrel concluyeron que para una buena calidad de agua, el costo total por unidad de volúmen de agua tratada (sin incluir bombeo) es casi lo mismo para el filtro de diatomeas

que para uno convencional de arena. Bajo las condiciones de limitado espacio en Los Angeles, el costo estimado de bombeo que sería necesario para restaurar la pérdida de carga producida por el filtro a gravedad, llevaron a la conclusión que los filtros de diatomeas podría ser más adecuado en esa situación particular.

Fraser y Asociados (7), en 1953 evaluaron un informe sobre las instalaciones de filtros de tierras diatoméas en Tupper Lake y Willsboro, New York (U.S.A.).

Los filtros en Tupper Lake fueron instalados para satisfacer demandas máximas, usando agua de lago como fuente de abastecimiento. Se tomó en consideración filtros de arena lentos y rápidos, pero se encontró que estos eran más costosos, que uno de diatoméas. Otra consideración tomada en cuenta a favor del filtro de diatoméas, era que podía ser puesto en funcionamiento rápidamente cuando era utilizado como una unidad auxiliar. Fraser establece que la planta puede ser puesta en completa operación en pocos minutos y proveer agua a total capacidad inmediatamente.

Las cuatro unidades de filtros de diatoméas instaladas en Tupper Lake proveen na capacidad de

6,650 m³ por día a un promedio de flujo de 68.4 metros cúbicos por metro cuadrado y por día. La máxima carrera del filtro obtenida antes de un lavado es de 87 horas, requiriéndose cerca de 130 á 180 kilogramos de tierra diatomea por 3,785 m³ de agua filtrada.

La instalación en Willsboro es más pequeña que la de Tupper Lake a pesar de que una segunda unidad se incluyen en los planes para instalaciones futuras. Fraser hace notar que el transporte hace que la tierra diatomea sea más cara de 6 a 7 cts. de dollar por libra y que durante 1953 la diatomita estaba limitada.

Kominek (8) ilustró el ahorro de espacio que se obtiene con el uso de filtros de diatomeas. Este ahorro posible por los filtros de diatomeas permitiría a muchas plantas industriales, expandir sus facilidades de tratamientos de agua en casos donde la expansión usando filtros de arena, sería imposible. En general, un filtro de diatomea puede costar de 10 á 15% más que un filtro de arena a presión, de una misma capacidad de filtración. Debe notarse sin embargo que el ahorro en el costo de terreno y edificaciones para albergar el filtro de diatomea, resultaría de un costo de

30 á 50% menos de lo que costaría el del filtro de arena.

Kominek concluyó que el mérito de considerar los filtros de diatoméas en la solución de muchos problemas sanitarios y químicos de filtración se deben a la alta calidad del efluente, poco requerimiento de espacio y simplicidad de operación.

Baumann y Babitt (9) en un estudio conducido en la Universidad de Illinois investigaron el efecto de el diseño y operación de los filtros de diatoméas sobre su economía de operación. Cuatro de los factores importantes que afectan la economía de operación de la filtración por diatoméas según ellos son:

- 1.- Calidad de agua (influyente)
- 2.- Promedio de filtración
- 3.- Máxima pérdida de carga permisible por el filtro.
- 4.- Tipo y cantidad de ayuda de filtrante usada.

Fraser concluyó que un depósito local de Sili cato de Calcio conocido como Wollastonite, podrían probar ser un substituto satisfactorio de la diatoma. mita.

Baumann (2) condujo una investigación en 1956

la que incluía una encuesta sobre las diferentes actitudes de los Departamento de Salud de los diferentes estados de los Estados Unidos de Norteamérica, hacia la utilización de los filtros de diatoméas en abastecimientos de aguas municipales y una evaluación de las existentes.

El encontró que 20 estados no aprobarían la filtración por tierras de diatoméas en plantas municipales, 13 estados y el territorio de Hawai no habían enfrentado nunca el problema sobre la aceptación o nó y por lo tanto no establecían ninguna política fija, 6 estados lo aprobarían y los 9 estados restantes incluyendo el territorio de Alaska (1956) lo aprobarían pero con ciertas restricciones. La vacilación de muchos departamentos de salud de los diferentes estados que no aprobarían el uso de filtros de diatoméas estaba basado en parte por:

- 1- Prejuicio basado en la observación de pobres diseños y operaciones de plantas en otras municipalidades.
- 2- Ausencia de datos necesarios para una correcta evaluación de la performance de un filtro de diatoméas.
- 3- Desconfianza general con los principios de la filtración de diatoméas.

- 4- Una creencia infundada que todos los filtros de diatoméas son difíciles y caros en su operación.
- 5- La falta de confianza en la capacidad de la delgada capa de tierra diatoméa sobre la malla, para filtrar agua.

Así de 28 plantas municipales utilizando estos filtros en 10 estados de la Union, 4 habían sido abandonadas por no ser satisfactorias, 23 habían dado resultados excelentes y una todavía en operación ha dado excesivas dificultades en su operación.

Baumann concluyó que, en general, las plantas abandonadas, actuaban de manera insatisfactoria, por que el personal que la operaba no comprendía los principios de su operación y mantenimiento de estos filtros, así como tampoco seguían las recomendaciones de sus procedimientos de operación.

Kominek (8) un representante de los líderes en la manufactura de filtros de diatoméas, reportó en 1947 sobre diversos costos que cubrían la instalación y operación de ambos filtros de diatoméas y filtros de arena. El concluyó con que había una diferencia en costos de operación (exclusivamente por mano de obra) de \$0.011 a 0.025 por 3785 litros de agua filtrada en favor de los filtros de arena.

Los estudios por Babitt y Baumann indicaron que el costo total de agua filtrada, bajo condiciones inferiores a las ideales, para un pueblo hipotético de 4,000 personas debería ser de \$0.05 por 3785 litros.

Ellos llegaron a la conclusión de que los filtros de diatomeas no han sido usados con mayor amplitud por dos razones principales:

- 1- Ignorancia en los diseños apropiados y en los métodos de operación.
- 2- En la creencia infundada que los filtros de diatoméas son mucho más caros de operar que los convencionales.

Bell (10) hizo un estudio comparativo sobre costos de filtración entre el filtro de diatoméas y el filtro de arena. Tres métodos de filtración fueron usados en la investigación:

- 1) Filtración de agua cruda por diatoméas
- 2) Filtración de agua pretratada por diatoméas
- 3) Filtración de agua pretratada por arena.

Los resultados de ésta investigación demostraron que los costos de instalación, en los filtros de diatoméas para filtrar agua, con ó sin pretratamiento, son considerablemente mucho más bajos que los de filtro de arena. El relativo alto costo de

operación se debía al costo de la tierra diatoméa. Bell estableció también de que no se había realizado ningún estudio para regular en forma precisa el dosaje de tierra diatoméa y que a pesar de que si echaba una cantidad apropiada para mantener una buena filtración, esta cantidad no era justamente la más apropiada.

Los datos de la performance de la tierra diatoméa obtenidos durante la investigación, demostró que la longitud del ciclo durante la filtración por diatoméas tenía un efecto considerable en el costo de la operación, pues ciclos de más de 2850 m³ eran más económicos que ciclos menores de 950 m³.

Bell concluyó que el costo total anual por filtración, con diatoméas de agua cruda, es aproximadamente igual al costo total anual por filtros de arena de agua cruda mas un pretratamiento. Asimismo, los costos de filtración por diatoméas más un pretratamiento, eran más altos que los costos de filtración por arena mas un pretratamiento. Estas conclusiones fueron obtenidas bajo condiciones de investigaciones en el laboratorio.

Baumann Miley y Morgan (12), realizaron un estudio para establecer la diferencia de operación entre un filtro de diatoméas a presión y otro al

vacío usando agua conteniendo fierro.

Ellos establecieron las siguientes conclusiones:

- 1.- El filtro al vacío es mucho más simple de operar que el filtro a presión en cualquier fase de operación por lo que el filtro al vacío es mas deseable.
- 2.- Debido al volúmen de agua filtrada producida por la mayor carrera de un filtro de diatoméas a presión sobre el filtro al vacío, hace que el de presión sea más favorable.
- 3.- La perdida de carga versus volúmen filtrado de ambos filtros son aproximadamente iguales para ambos.
- 4.- El filtro al vacío no remueve fierro en forma soluble y el de presión sí.

Finalmente, a comienzos del presente año 1961, en la Universidad del Estado de Iowa (Iowa State University) el autor de la presente, bajo la dirección del director del departamento de Ingeniería Sanitaria, Dr. Profesor Robert Baumann y del Dr. Robert La Frenz se realizó una investigación sobre cual era la cantidad más adecuada de "body feed" para promedios diferentes de flujo y con diversas concentraciones

de fierro en el influente. Los detalles de estas investigaciones así como las conclusiones, las explicaré en un capítulo especial.

II EQUIPO DE FILTRACION

A.- GENERALIDADES.-

El filtro de diatoméas es un aparato en el que el agua es mecánicamente "colada" a través de una capa comercialmente procesada, llamada: tierras de diatoméas o ayuda filtrante, la que generalmente es colocada en la parte exterior de un cilindro de estructura permeable llamada criba ó malla filtradora (Septum).

La criba con su revestimiento (coating) es el componente fundamental de el filtro de diatoméas (fig. 1). La función básica de la criba es la de sostener la tierra de diatoméas la que es el medio filtrante.

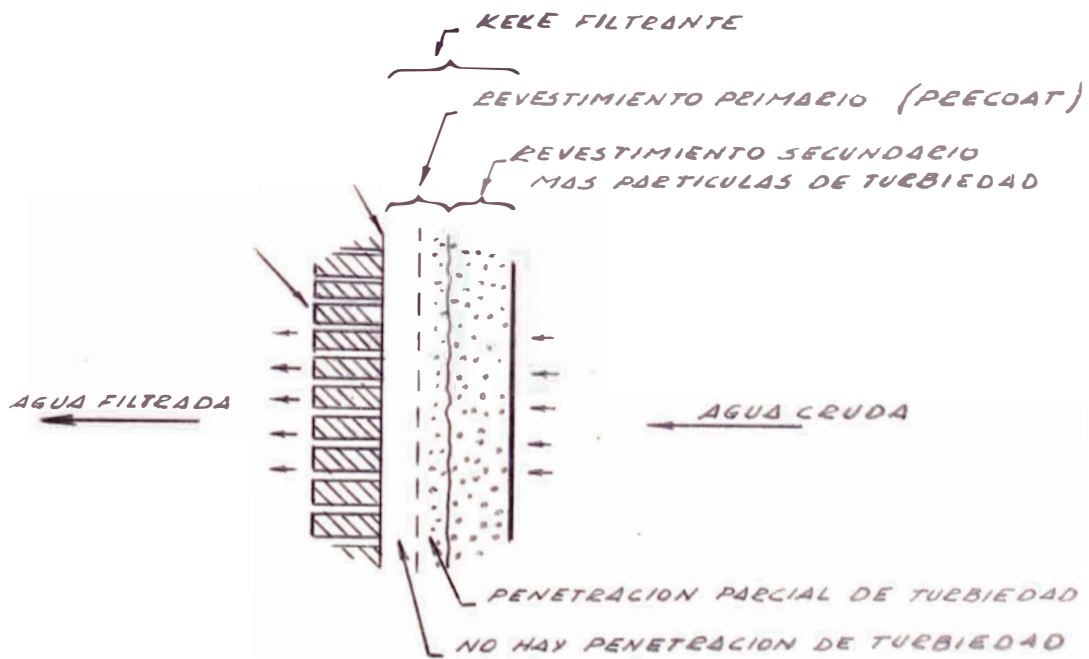
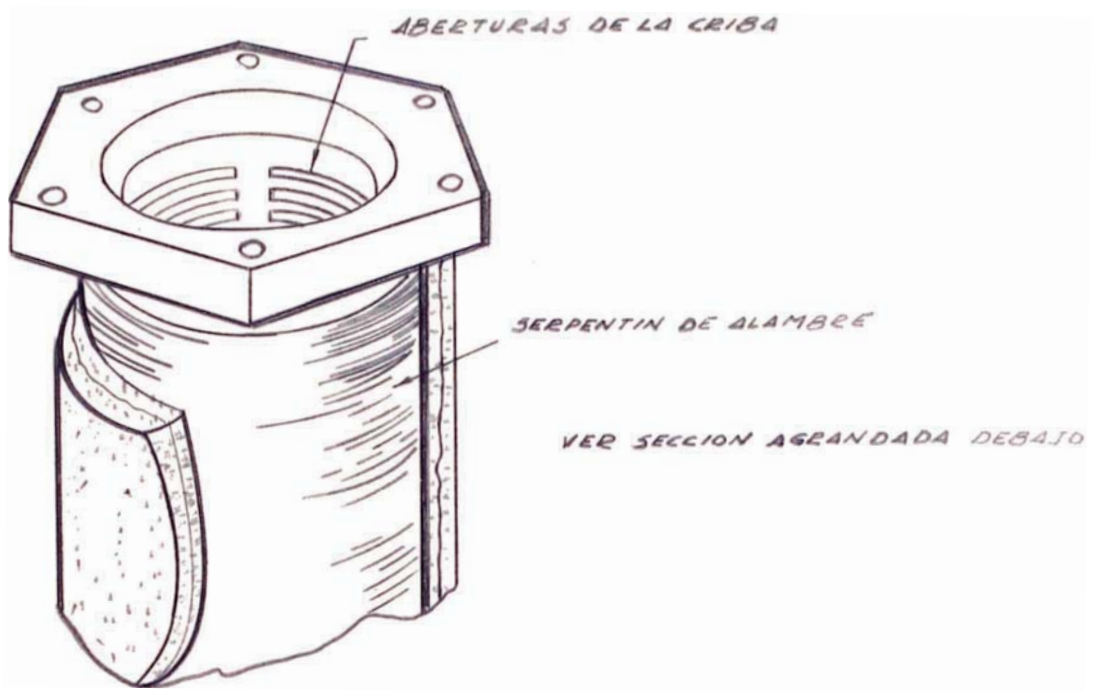
Todos los demás componentes de el filtro son accesorios apropiados al funcionamiento de la criba y su capa de tierra diatoméa. Existen tres operaciones que son necesarias para el propio funcionamiento de un filtro de diatoméas:

1º Ciclo .- La aplicación de una capa uniforme de tierra diatoméa de adecuado espesor (precoat), a la superficie exterior de la criba.

2º Ciclo .- El empleo de la criba, más la capa

Figura 1.

Criba cilíndrica con un corte
transversal del keke filtrante



de tierra diatoméa en su rol filtrante con el propósito de remover las partículas suspendidas que se encuentran en el agua.

3er Ciclo.- La remoción de la capa filtrante de la criba al terminar el ciclo normal de filtración (ciclo 2º). Este ciclo es conocido como el de lavado.

Los principales accesorios usualmente asociados e incluidos en el diseño de un filtro de diatómeas incluyen:

- 1- Albergue del filtro.
- 2- Aparatos de Precoating y Body Feed.
- 3- Bombas de servicio.
- 4- Indicadores y controladores de flujo.
- 5- Medidores de pérdida de carga.
- 6- Bombas de recirculación.
- 7- Equipo especial de lavado.
- 8- Tubinas y accesorios suficientes para permitir el precoat, filtración y ciclos de lavado en formas simples y eficientes.

Las cribas son usualmente colocadas en el interior de un tanque cilíndrico de acero que le sirve de albergue. El albergue es dividido por la criba filtradora en dos compartimientos. El compartimiento de agua cruda y el de agua filtrada.

El arreglo de estas cribas en el albergue y el método de llevar a cabo la filtración dependen de la construcción básica del filtro. Los dos tipos básicos de uso más comunes son el tipo a presión y el tipo al vacío.

B.- TIPOS DE FILTROS A BASE DE TIERRAS DIATOMEAS.-

1- Tipo a presión.- La figura 2 muestra un diagrama esquemático de un típico filtro a presión. En este filtro la diferencia de presión, entre el compartimiento de agua cruda y el de agua filtrada, que es necesaria para superar la pérdida de carga a través del filtro es obtenida por medio de una bomba centrífuga de presión localizada en la tubería del influente ó sea del agua cruda.

La prominente ventaja del filtro a presión, es que la diferencia de presiones a través del filtro puede ser tan grande como sea necesario para obtener una carrera deseada del filtro, siendo limitada sólo por la presión máxima que pueda desarrollar la bomba de servicio.

Las desventajas del filtro a presión son:

a).- Todas las tuberías y equipo desde el lado de presión de la bomba de su servicio, hasta la

Figura 2.

Filtro de diatomeas a presión.

Ciclo filtrante.

Figura 3.

Filtro de diatomeas a presión.

Ciclo filtrante interrumpido.

Figura 4.

Filtro de diatomeas a presión.

Ciclo del Revestimiento primario

(precoat)

Figura 5.

Filtro de diatomeas a presión.
Ciclo de lavado.

tubería del efluente del filtro; se encuentran bajo presiones considerablemente mayores que la atmosférica. Por lo tanto todos los componentes del filtro deben ser herméticamente cerrados para poder soportar las altas presiones inherentes a este tipo de filtros.

Por lo dicho este equipo de filtración es mucho más caro que el equipo que se diseña para soportar presiones como la atmosférica, como es el caso de los filtros al vacío.

- b).- Body Feed y el equipo de precoating necesario para el filtro de diatoméas a presión es complicado y costoso. Por el hecho de que todo el albergue del septum debe permanecer cerrado durante toda la operación. La única forma por medio de la cual la diatoméa pueda ser colocada en el albergue, es inyectándola en la tubería que lleva el influente durante el ciclo del precoating.

El Body Feed debe ser inyectado continuamente a la tubería del influente como una mezcla de concentración cuidadosamente controlada durante el ciclo de filtración.

Los aparatos tales como, el recipiente para el Precoat y la inyección del Body Feed no son necesarios en el filtro que trabaja al vacío.

c).- La construcción cerrada de un filtro a presión requiere que diseños especiales sean incluidos para permitir un buen lavado de la criba.

Sin embargo, a pesar de que se han ennumerado mayores ventajas que desventajas del filtro a presión sobre el de vacío, debe entenderse que la única ventaja del filtro a presión sobre el vacío hace que se prefiera un filtro a presión en instalaciones de plantas municipales.

2- Tipo al Vacío.- Un diagrama de un típico filtro al vacío es mostrado en la figura 6. La presión necesaria para poder filtrar en este tipo de aparato es cerrada por la succión de una bomba en la tubería del efluente.

La bomba reduce la presión en el compartimiento de agua filtrada, permitiendo que la presión atmosférica que existe en el compartimiento de agua cruda force al agua por filtrar a través de la criba.

Figura 6.

Filtro de diatomeas al vacío..

Ciclo filtrante.

Figura 7.

Filtro de diatomeas al vacío
Ciclo filtrante interrumpido.

Figura 8.

Filtro de diatomeas al vacío
Ciclo del Revestimiento
primario (precoat).

Figura 9.

Filtro de diatomeas al
vacío. Ciclo de lavado.

Ventajas del filtro al vacío:

- a).- Desde que presión atmosférica es mantenida en el compartimiento de agua cruda y como la diferencia de presión a lo largo del filtro es baja, el albergue y los demás componentes del filtro no necesitan construirse para soportar altas presiones de operación.
- b).- La tierra diatoméa para el proceso del precoat puede ser colocada en el compartimiento de agua cruda con la mano. Así mismo, el Body Feed puede ser agregado en forma seca en un aparato montado sobre el compartimiento de agua cruda. El colocar el Body Feed en esta forma elimina la necesidad de un tanque especial y equipo de inyección.
- c).- Equipo de lavado es innecesario en casos donde la economía de construcciones es suprema. La tierra sucia puede ser removida del septum, con la mano ó con una manguera a presión. Sin embargo, si se desea un lavado automático, este puede ser previsto, invirtiendo tan solo el flujo y colocando una tubería de drenaje.
- d).- La construcción de un albergue abierto permite la observación de la criba metálica, lo que es una gran ventaja ya que se puede observar

la criba cuando está obstruída; sea en el momento del precoat o el de la filtración.

Desventajas del filtro al Vacío:

La única y más importante para ser tomada en consideración, es que la diferencia de presión entre los compartimientos de agua cruda y de agua filtrada es limitada para cualquier propósito práctico, a una presión equivalente de 6 a 6.70 mts de agua. Esto significa que la pérdida de carga final de un ciclo de filtración es muy baja y por lo tanto la carrera de un filtro es muy corta comparada con carreras bajo condiciones similares obtenidas con un filtro a presión.

C.- PARTES DEL EQUIPO.-

1- Criba.- La criba ó malla filtrante usada en filtros de diatoméas, difieren enormemente en tamaño, forma, área y capacidad de filtración. Generalmente la criba es usada unicamente como un soporte, para la tierra de diatoméa que es la que sirve en realidad de medio filtrante. En algunos diseños, sin embargo, la criba misma es capaz de servir como filtro y como soporte del medio filtrante.

Tres tipos de cribas son diseñadas para uso

por filtración con diatoméas: (a) El tipo cilíndrico; (b) El tipo hoja y (c) el tipo horizontal.

a)- El tipo cilíndrico es el más comunmente usado en estos filtros. Los factores que influyen su uso son:

- 1- Permiten el uso de área mayor por unidad de volúmen de filtración.
- 2- La forma cilíndrica permite el diseño de una estructura suficientemente rígida para soportar las flexiones y esfuerzos de compresión expuestos durante la instalación y o filtración.
- 3- Son facilmente fabricados y pueden, de esta manera proveer economías en su uso.
- 4- El lavado es suficientemente cumplido con una pequeña cantidad de agua.
- 5- Son facilmente instaladas y removidas.

La principal desventaja de la criba cilíndrica es que el medio filtrante (tierra diatomea) puede desprenderse de la criba, si el ciclo de filtración es interrumpida.

Las cribas cilíndricas generalmente usadas en filtros de agua son hechas de un plástico central hueco enrollado helicoidalmente con acero inoxidable

ó alambre metálico, alambre acanalado de bronce
telas metálicas, tubos porosos de bronce.

Sólo las cribas cilíndricas de un metal poroso, de un poro cuidadosamente controlado, es económico para ambos usos: como un medio de soporte de la tierra diatoméa y como medio filtrante.

b)- Las cribas tipo hoja son disponibles en varias formas, todas emplean los mismos principios generales de operación, pero difieren en materiales de construcción y detalles de diseño. La forma más común de una criba tipo hoja, consiste de una superficie doble de acero inoxidable perforado, cubierto a ambos lados por una tela sintética tal como orlón.

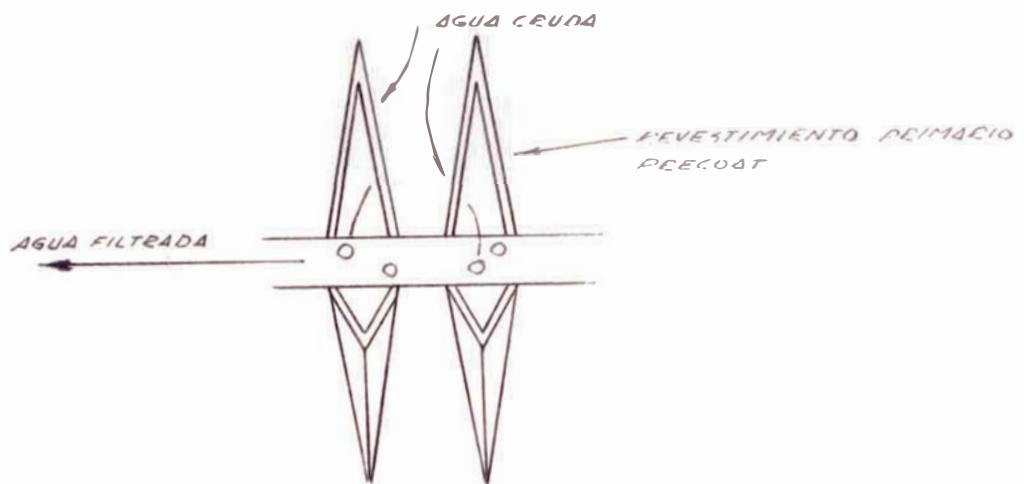
Varias cribas son montadas en un eje central que actúa como línea de efluente (fig. 10). El precoat es colocado en las superficies exteriores de las cribas. El agua cruda fluye a través de la capa filtrante al disco de doble superficie y sale por las perforaciones del eje central.

Otras formas del tipo hoja consiste de (b) una hoja rectangular de acero corrugado inoxidable cubierto con una malla de alambre para sostener la ayuda filtrante. Los canales de flujo corren

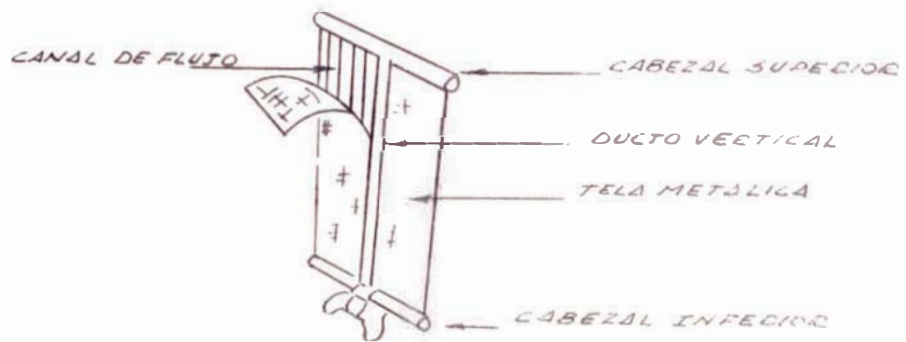
Figura 10.

Típicas cribas.

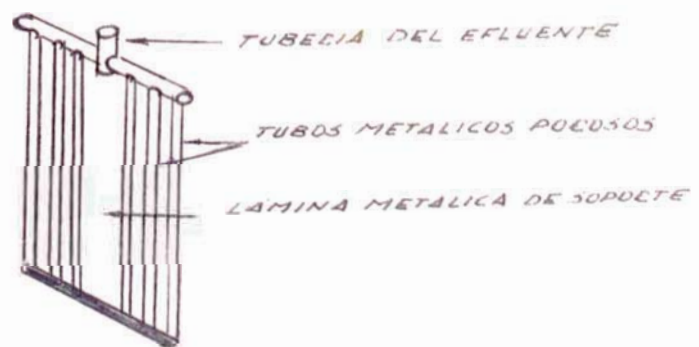
Tipo hoja.



(A) CRIBA DE FORMA DE DISCO CUBIERTA DE TELA



(B) CRIBA DE ACERO CORRUGADO INOXIDABLE



(C) CRIBA DE TUBOS METALICOS PERFORADOS

en una dirección vertical y están conectadas a cabezales de acero inoxidable superiores e inferiores. Los cabezales están interconectados por un conducto central vertical que lleva el agua filtrada a un ducto principal. (fig. b).

Tubos metálicos porosos colocados verticalmente en una hoja metálica (c). Los tubos son conectados a un cabezal en la parte superior de la hoja. Ambas formas de cribas metálicas rectangulares, son montadas verticalmente en un albergue cilíndrico. La línea del efluente de cada una está conectada a un ducto principal de descarga.

El precoating, filtración y operación de lavado para cribas tipo hoja son generalmente iguales para filtros que emplean cribas cilíndricas con la única excepción que el lavado por presión de aire no se usa en los de tipo hoja.

La única ventaja importante de la criba tipo hoja es que tienen mayores áreas de filtración por unidad de volumen filtrado.

Existen varias desventajas evidentes en

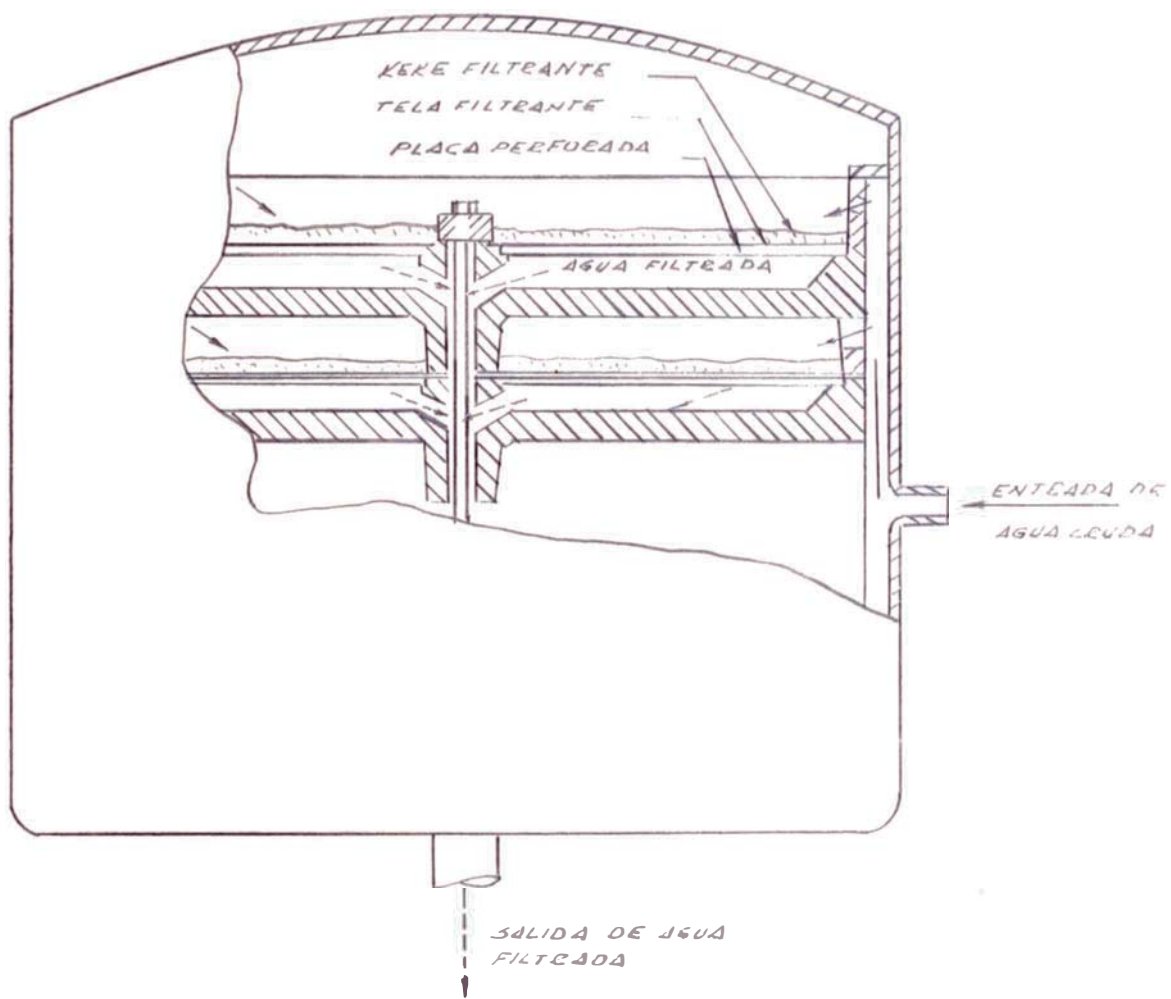
este tipo de criba:

- 1) Si la filtración es interrumpida, el keke se desprenderá de la superficie de las cribas, a no ser que una bomba de recirculación sea instalada y que opere automáticamente en el caso de una interrupción.
- 2) Es muy improbable que el precoat será aplicable en forma uniforme sobre todas las superficies de las cribas por cuanto el flujo en las cribas interiores son obstruídas por interiores. El arreglo de las cribas en el albergue, prevee una observación efectiva de la operación del precoat.
- 3) El método de amarre de las telas metálicas de las cribas a las tuberías del efluente predisponen a una alta posibilidad de fugas entre los compartimientos de agua cruda y filtrada a los lados de las cribas.
- 4) Debido al arreglo vertical de las cribas rectangulares en el albergue cilíndrico vertical, cada hoja es de tamaño diferente, por lo tanto, reemplazos de diferentes tamaños deben tenerse en stock para cualquier emergencia.

c)- Cribas Horizontales: Son manufacturadas en di-

Figura 11.

Criba de lámina horizontal.



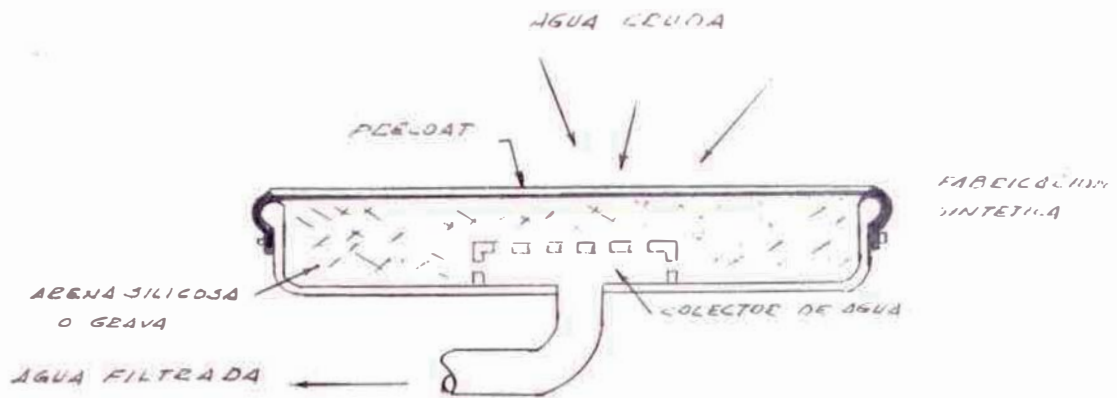
versas formas.(fig. 11). Una de las formas consiste de una lámina metálica que sostiene una lámina perforada cubierta por una capa de tela sintética. El keke filtrante se forma en la superficie de esta tela. El agua fluye a través del keke filtrante y de la tela hasta pasar la lámina perforada. La configuración de la lámina del filtro es tal, que el agua filtrada fluye de la superficie de la lámina hasta el ducto central de recolección. El método del precoating es igual a los tipos anteriores. El lavado se realiza de dos formas, ya sea invirtiendo el flujo con agua filtrada ó desarmando el filtro y limpiando cada criba con la mano.

El segundo tipo de criba horizontal Fig. 12 consiste de un disco de fabricación sintética montada, sobre una cimentación elástica. La cimentación elástica puede ser una superficie de arena, o grava sostenida por una vasija. La superficie de ayuda filtrante se forma en la parte superior de la superficie del disco de fabricación sintética. El agua fluye a través del keke filtrante y del disco hasta pasar por la superficie de arena,

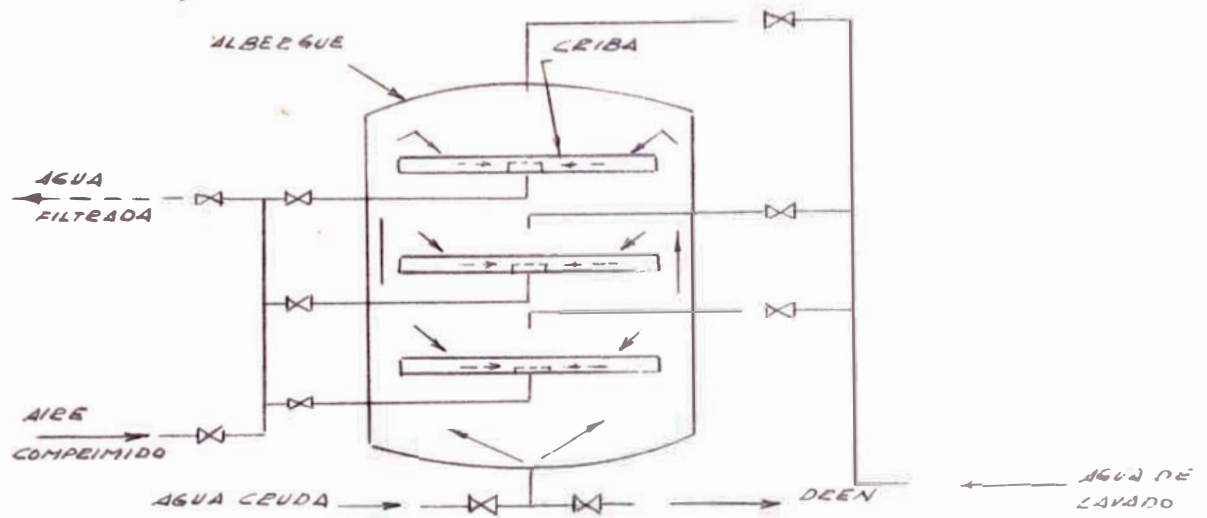
Figura 12.

Criba de tipo horizontal
Método de instalación.

(A) CRIBA HORIZONTAL



(B) METODO DE INSTALACION



Las ventajas de una criba laminar horizontal son:

- 1.- Proveen mayor área de filtración por unidad de volúmen. filtrado.
- 2.- Si el ciclo de filtración es interrumpido, el keke filtrante no se desprende, como en el caso de los filtros cuyas cribas son verticales.

Las desventajas son:

- 1.- Las cribas individuales no son facilmente accesibles por el método de instalación que es requerido.
- 2.- La distribución de las cribas en el albergue, con relación a la posición de la única entrada de agua, insinúa a que todas las cribas no sean uniformemente revestidas.
- 3.- Lavado de las cribas ó su limpieza es una operación complicada y consume más tiempo que el caso de las cribas cilíndricas.
- 4.- A pesar de que pueden ponerse ventanas de observación en el albergue, es dudoso que puedan ser visibles las operaciones del revestimiento en todas las cribas, particularmente en el primer tipo de criba horizontal. Fig. 11.

Una ventaja particular en el tipo de criba horizontal ilustrada en la figura 12, es que las vasijas están conectadas a un ducto común en una forma paralela, de tal modo, que todas las vasijas ó las deseadas puedan ser operadas en cualquier momento particular. Así mismo cualquier vasija puede ser retirada sin interferir con la operación de las demás.

2- Albergue.- El albergue es la primera componente estructural de un filtro de diatoméas. Su función es proveer una cámara en la cual sean montadas las cribas y en la que las operaciones de precoating, filtración y lavado toman lugar. El albergue está dividido por los compartimientos de agua cruda y agua filtrada, por una placa que sostiene las cribas filtradoras.

3- Equipo de Precoat.- La función del equipo de precoat es colocar la ayuda filtrante en forma de "Slurry" (mezcla), esto es, depositandolo en forma uniforme en las cribas durante el ciclo del precoating. El tipo de equipo usado depende si el efluente va a ser recirculado continuamente a través del filtro durante la operación del precoat. Si el efluente no va a ser recirculado,

el agua que lleva la ayuda filtrante pasa por el filtro y es botada al desagüe. En cambio, cuando la operación del precoating es con recirculación, el agua que lleva la ayuda filtrante pasa a través del septum varias veces para asegurar que ninguna partícula de la ayuda filtrante, que pueda haber pasado la criba en un ciclo de recirculación anterior, sea depositada en la criba más tarde.

Existen tres métodos de colocación de la ayuda filtrante para la operación del precoating en el albergue:

a) Método de precoating por gravedad.-

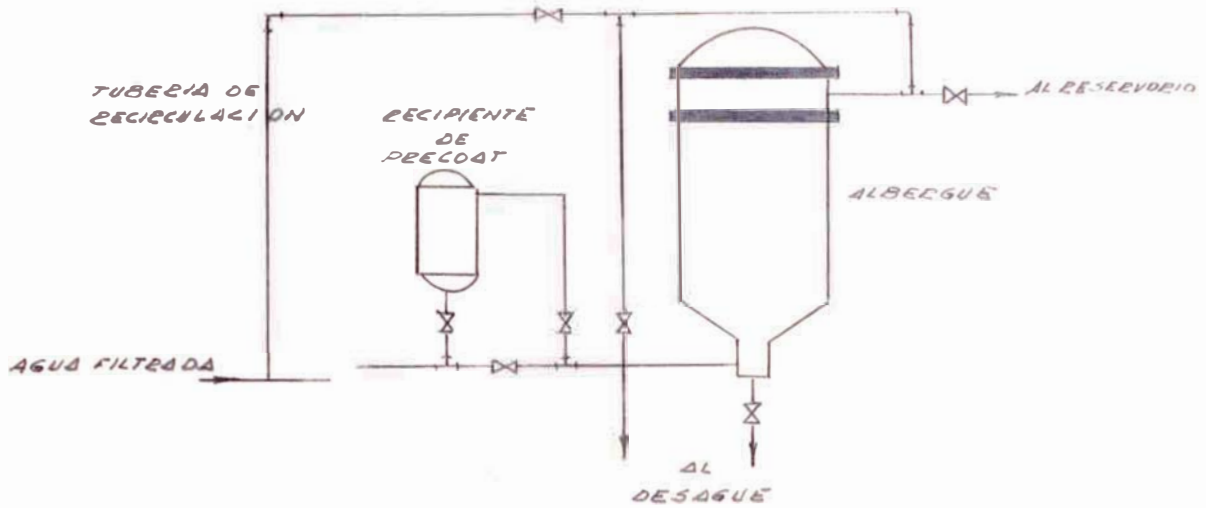
Si no se utiliza recirculación, la forma más directa de colocar las ayudas filtrantes en el filtro tipo a presión, es dejar caer por gravedad la tierra diatoméa al fondo del albergue momentos antes de comenzar el ciclo del precoating, fig. 13a. Este método de flujo por gravedad requiere un pequeño tanque, que es generalmente colocado al lado del albergue, con una válvula en la tubería que lleva la ayuda filtrante al fondo del albergue.

La ventaja más importante de éste método, es que el equipo es de simple construcción y de fácil operación.

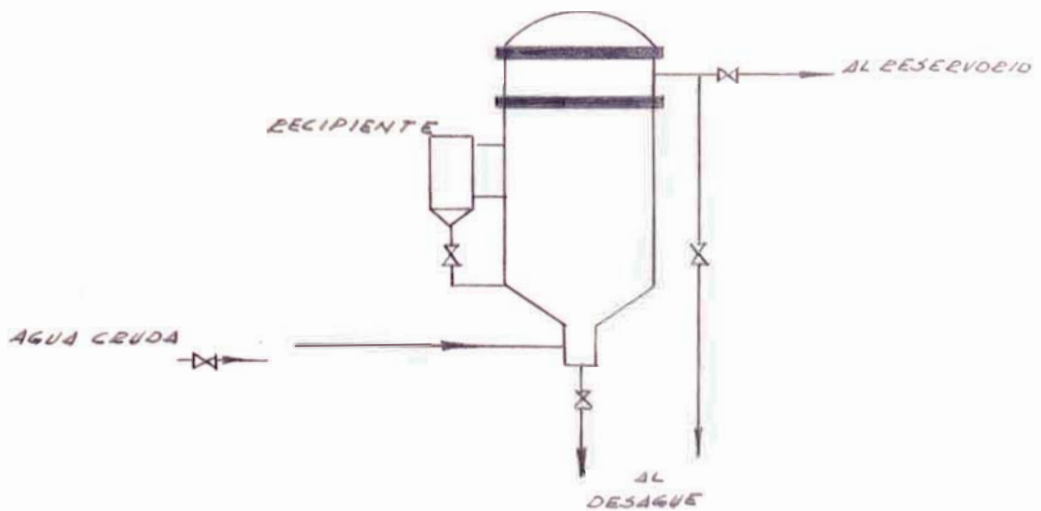
Figura 13.

Métodos de revestimiento primario
(Precoating).

(A) METODO DE REVESTIMIENTO PRIMARIO
CON RECIRCULACION



(B) METODO DE REVESTIMIENTO PRIMARIO
POR GRAVEDAD



La mayor desventaja es que la operación pue de facilmente ser equivocada por un operador inexperto.

Si la ayuda filtrante es depositada en el fondo del albergue mucho tiempo, antes de comenzar el ciclo del precoating, ésta se sedimentará en el fondo del albergue.

Bajo estas circunstancias, la ayuda filtrante no podrá ser más suspendida y llevada por el agua del precoat hacia la criba. Cuando el ciclo del precoating comienza, la ayuda filtrante tiende a ser llevada hacia arriba, en una masa concentrada sin la dispersión necesaria para obtener un precoat uniforme sobre la superficie de la criba.

b) Método de precoating a presión.-

Este método de la vasija de precoat es usado en filtros a presión, fig. 13b. Momentos antes de que el ciclo de precoat sea comenzado, la ayuda filtrante es colocada en una vasija llena de agua que es hermética y a prueba de presión. La vasija está paralela con la línea del influente y el sistema tiene v lvula para permitir el completo flujo de agua de precoating, a su echada en la vasija durante el ciclo del precoating y para prever que el agua fluya por la vasija del precoat durante el ciclo de filtración.

Una línea de recirculación puede ser provista para regresar el efluente del filtro, a la tubería de succión de la bomba, durante el ciclo de precoat. Cuando la vasija de precoat es utilizada sin recirculación el efluente es echado al desagüe durante el precoating.

Las ventajas del precoating a presión sobre el de gravedad son:

- 1) Con circulación a presión, la operación del precoating es positiva, puesto que la sedimentación de la ayuda filtrante durante el precoating no es posible por la velocidad de ascensión del flujo en el albergue.
- 2) No podría existir efectos adversos en la calidad del precoat si el ciclo del precoat no es seguido inmediatamente después de ser colocada la ayuda filtrante en la vasija.

El flujo del agua del precoat a través de la pequeña vasija permite que la ayuda filtrante sea suspendida y distribuída uniformemente en la criba.

La desventaja principal del método a presión es que es más complicado y algo dificultoso de operar que el equipo por gravedad.

C) Colocación Manual.-

En los filtros al vacío, la ayuda filtrante para la operación del precoating puede ser colocada directamente en la entrada de la cámara que va a la criba en el albergue, con la mano.

Si el efluente va a ser recirculado durante el ciclo del precoat, se necesitan tuberías y válvulas para distribuir el efluente a la bomba que realiza la recirculación.

Si no se va a usar recirculación, el efluente es entregado al desagüe.

4- Equipo de Lavado.- El lavado es utilizado para remover el keke ya utilizado de la criba, al final de una carrera de filtración y puede realizarse por una ó una combinación de varios métodos. Cada uno de los métodos de lavado a discutirse líneas abajo requiere su propio y particular diseño.

a)- Inversión del Flujo.- La inversión del flujo requiere que el agua filtrada sea bombeada al compartimiento del albergue de filtración y atravesar la criba, forzando a la ayuda filtrante utilizada, a desprenderse de la superficie de las cribas. El equipo necesario para inver-

tir el flujo consiste en una conexión entre el reservorio de agua filtrada y el lado de la succión de la bomba de servicio. El agua de lavado es drenada por medio de una válvula que se encuentra en el fondo del albergue.

- b)- Golpe de Aire.- Lavado por medio de aire requiere que el albergue sea diseñado en forma tal que durante el ciclo de precoating y de filtración se comprima aire en una trampa sobre la línea del efluente, en la cabeza del compartimiento de agua filtrada y también en la parte inferior debajo de la criba, en el compartimiento de agua cruda.

Una válvula que pone en libertad el aire rápidamente, se instala en el lado del albergue de filtración sobre la línea de agua en la trampa de aire inferior.

Para el lavado, la línea del efluente es cerrada y la presión en ambas trampas de aire permiten alcanzar la presión máxima entregada por las bombas de servicio. Entonces la válvula del influente es cerrada y la válvula de escape de aire es abierta. El escape rápido de presión de la trampa inferior de aire permite la rápida expansión del aire en la trampa

superior la que simultáneamente empuja el agua através de la criba regresando por el compartimiento de agua cruda, removiendo el keke utilizado de la superficie de las cribas. El agua de lavado y las partículas del keke son arrojadas de el filtro por medio de una válvula colocada en el fondo del albergue hacia el desagüe. Este método de lavado puede ser usado solo en filtros de presión. Este tipo de lavado requiere un mínimo de equipo pero depende también en diseños especiales.

- c)- Gorgoteo de Aire.- Este método de lavado requiere instalar solamente una válvula de 1½" á 2" de diámetro en la tubería de drenaje del albergue y válvulas de evacuación de aire, para que no se forme aire comprimido en los compartimientos de agua cruda y filtrada.

Para el lavado, el ciclo de filtración es interrumpido y la válvula en la línea de drenaje es abierta para dejar que el agua sea evacuada. A medida que el agua fluye por el drenaje, grandes burbujas de aire penetran por ella en reemplazo de el agua descargada.

La elevación de estas burbujas determinan una turbulencia en el agua la que remueve

la ayuda filtrante de las cribas.

- d)- Lavado a Mano.- Los filtros tipo al vacío con compartimientos abiertos pueden ser lavados con la mano. Una manguera puede utilizarse para remover el keke. El agua utilizada más las partículas del keke fluyen hacia los drenes.

- e)- Pulverizador a Chorro.- Este método es utilizado principalmente para limpiar las cribas tipo hoja que se encuentran montadas sobre un eje central. Varias tuberías perforadas son colocadas alrededor de las cribas y durante el ciclo de lavado el agua sale en forma de chorro de las tuberías y destruye el keke de las cribas.

- f).- Combinación.- Una combinación puede formarse de los métodos, golpe de Aire y Gorgoteo de Aire.

Otra combinación que podría asegurar una limpieza completa de las cribas, es una combinación de Golpe de Aire, acompañado con una inversión de flujo. El golpe de aire es utilizado primero, seguido por la inversión.

Pueden realizarse otras combinaciones, pero debe tenerse en mente que cualquiera que fuera el método utilizado, éste debe ser relativamente simple de operar y con un mínimo de equipo auxiliar.

5- Equipo de "Cuerpo Alimentador" -Body Feed-

La función del body feed es la de agregar cantidades predeterminadas continuamente en el influente durante el ciclo de filtración. El body feed es entonces llevado a las cribas y junto con la turbiedad, forma unas placas porosas de impurezas retenidas, entremezcladas con partículas de ayuda filtrante.

Existen tres detalles en el equipo de body feed que deben considerarse en el diseño de cualquier instalación de estos filtros.

a)- Tanque de Mezcla.-

El tanque de mezcla funciona como una cámara en la que la ayuda filtrante a ser usada como body feed, es mezclada con agua.

Existen dos formas de producir esta mezcla: Un sistema consiste en tener un tanque suficientemente grande para contener suficiente body feed a ser usado por 12 á 24 horas. La ayuda filtrante es colocada en el tanque, al comienzo

del ciclo de filtración y la mezcla es introducida en la entrada del agua cruda del agua cruda del filtro hasta que el ciclo haya terminado.

El otro sistema consiste en un tanque mucho más pequeño; una válvula flotadora controla el nivel de agua que va a ser utilizada en el tanque mezclador. En este método de operación conocido como nivel constante de alimentación, un alimentador en seco montado sobre el tanque de mezcla alimenta la ayuda filtrante al tanque en forma continua a un promedio determinado através del ciclo de filtración.

El fondo del tanque de mezcla debe ser ligeramente cónico para permitir un drenaje rápido para limpieza. La salida del tanque es conectada en alguna forma de alimentador de mezcla, para proporcionar mezcla a la línea de influente entre la bomba de servicio y el filtro.

Una parte integral de un tanque mezclador es el agitador para mantener la ayuda filtrante uniformemente suspendida. Existen tres tipos de agitadores a ser utilizados para éste propósito.

(1)- Agitador rápido.-

Consiste en una pequeña hélice al final de un eje, operado por un motor de alta velocidad, todo el mecanismo usualmente conectado a un lado del tanque mezclador (fig. 14a). El agitador rápido generalmente opera a 1725 rpm. Este tipo de agitador es económico pero tiende a reducir el tamaño de las partículas de ayuda filtrante.

(2)- Agitador de baja Velocidad.-

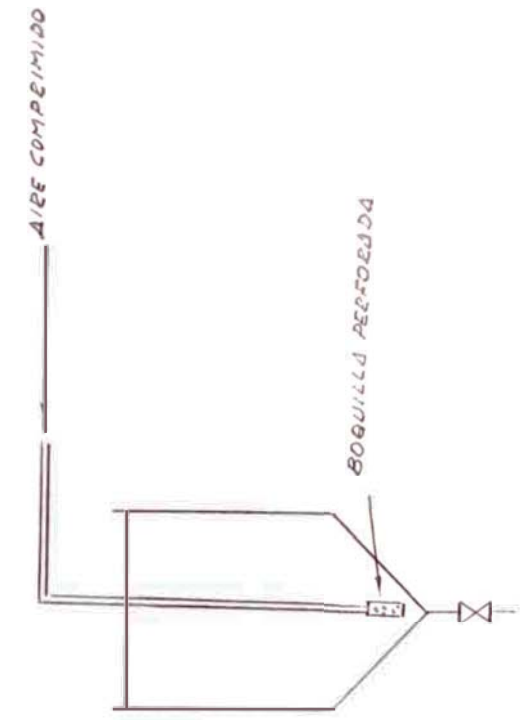
Este agitador consiste de dos hojas ó paletas montadas sobre un eje que es movido por un motor eléctrico de baja velocidad. Cada longitud de paleta es ligeramente menor que el radio de tanque y el mezclador es montado verticalmente en el centro del tanque en forma tal que las paletas rotan en el fondo de la parte cilíndrica del tanque (fig. 14b). La velocidad de rotación de las paletas es de 60 200 rpm.

(3)- Agitador de Aire Comprimido.-(fig. 14c)

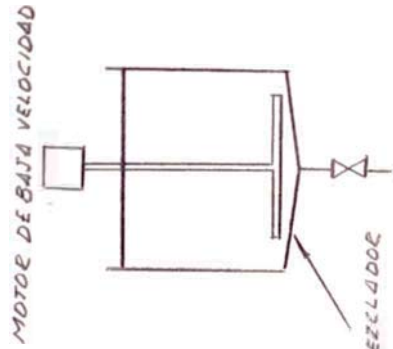
En éste método de agitación una manguera de aire comprimido es introducida en el tanque mezclador, extendiendo la salida justo sobre el fondo de la parte cónica del tanque. Una bo-

Figura 14.

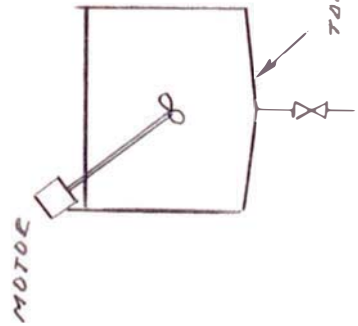
Equipo de mezclador de ayuda fil-
trante para el revestimiento secun
dario (body feed)



(C) AGITADOR DE AIRE COMPRESIVO



(B) AGITADOR DE BAJA VELOCIDAD



(A) AGITADOR DE ALTA VELOCIDAD

quilla perforada al final de la manguera, permite que las burbujas de aire sean descargadas en el fondo del tanque. Las burbujas son deflectadas hacia arriba y afuera por el fondo cónico del tanque y al ser elevadas crean una turbulencia en el agua la que mantiene la ayuda filtrante en suspensión. Cualquier método de mezcla que pueda ser usado debe ser empleado continuamente a través del ciclo de filtración.

b)- Alimentador Seco.-

En el nivel constante ó método de flujo continuo de alimentación, un alimentador seco puede ser usado para mantener una concentración conocida de ayuda filtrante en el tanque mezclador de cuerpo alimentador. Un tipo común de un simple alimentador en seco emplea un recipiente cilíndrico de cuerpo alimentador montado verticalmente. El fondo del recipiente está separado de la cubierta cilíndrica, dejando una abertura de exposición de ayuda filtrante, de aproximadamente $\frac{1}{2}$ pulgada de ancho entre el borde inferior de la cubierta y el fondo desplazado. El recipiente es montado sobre el tanque mezclador de manera que pueda

rotar lentamente con un pequeño motor eléctrico. El borde de una cuchilla es montado al costado del recipiente en forma tal que a medida que el recipiente rota, el borde de la cuchilla raspa la ayuda filtrante de la abertura de exposición.

La ayuda filtrante removida cae en el tanque mezclador. El promedio de aplicación de la ayuda filtrante es regulado controlando la profundidad a la cual el borde de la cuchilla corta la ayuda filtrante y controlando también la velocidad de rotación.

En general cualquier tipo de alimentador de sustancias químicas puede ser usado para alimentar la tierra diatoméa.

c)- Equipo Dosificador de Mezcla.- La función del equipo dosificador de mezcla, es la de inyectar una cantidad controlada de mezcla de ayuda filtrante del tanque mezclador a la tubería de agua cruda, durante el ciclo de filtración. Esta operación es generalmente acompañada con el uso de una bomba dosificadora ó un eyector líquido.

(1)- Bomba Dosificadora.-

Una bomba dosificadora común consiste

de una bomba de diafragma movida por un pequeño motor eléctrico. En algunos casos poleas de tres dimensiones permite operar la bomba a varias velocidades, expresadas en golpes por minutos. Un ajuste preciso de dosaje de cuerpo alimentador puede realizarse variando la longitud del golpe de la bomba por medio de botones.

Bombas que tienen un amplio rango de presiones y capacidades de operación son disponibles, la selección depende de los requerimientos particulares de la instalación de un filtro.

Inyectores.- La operación de inyección de un fluido depende del hecho que la presión diferencial es creada por el flujo de un fluido normal a una boquilla. El flujo de agua cruda a través de la tubería del influente causa una reducción de presión en el punto donde la salida del tanque del cuerpo alimentador está conectado, a la tubería del agua cruda.

Esta reducción en presión en efecto arrastra la mezcla de ayuda filtrante del tanque a la tubería de agua cruda. Una válvula en el tanque mezclador controla el promedio en el cual la mezcla fluye del tanque.

III AYUDAS FILTRANTES

A.- TIPOS.-

Una ayuda filtrante debe ser un material sólido, finamente dividido, consistiendo de partículas fuertes que son virtualmente incomprensibles, cuando amasadas en un keke bajo presión, Muchos materiales diferentes son usados como ayudas filtrantes. Entre ellos tenemos la tierra diatoméa (referido como Kieselguhr, tierra de Fuller ó diatomita), carbón finamente dividido, fibras de pulpa de madera, arena fina y algunos precipitados granulares cristalinos, tales como carbonato de calcio, sulfato de calcio y silicato de calcio. Existen diferentes calidades de ayudas filtrantes, dependiendo en tamaños particulares de partículas y características de flujo. El más usado para filtración de agua y el único que va a ser discutido en detalle es la tierra diatoméas.

Los tipos de ayudas filtrantes anteriormente mencionados, son usados principalmente en las operaciones de filtración específica en la industria química. Sin embargo Silicato de Calcio natural ha sido investigado como un substituto de la diatoméa en filtración de aguas municipales. (13)

En la mayoría de los estudios experimentales conducidos con filtros de diatoméas el Celite⁽¹⁾ 535 fué la ayuda filtrante utilizada, por lo tanto la mayoría de los datos obtenidos de dichos estudios pertenecen a perfomances del Celite 535.

Las identidades numéricas de los diferentes grados de Celite obtenibles (fig. 15), no tienen un significado físico ó químico aparentes. La ayuda filtrante seleccionado para una aplicación particular debe ser la más ancha y que nos dé las características de flujo y claridad de efluente deseada.

B.- FUENTES DE OBTENCION.-

La diatomita que es usada como un medio filtrante en filtros de agua de diatoméas, consisten de un esqueleto silicoso pertenecientes a las diatoméas. Las diatoméas son plantas microscópicas, Fig. 16, relacionadas a las algas que han existido en abundancia en algunos lugares de el mundo. Sobre largos períodos de tiempos geológicos, a medida

(1) - Reg. U.S. Pat. Office, Johns Mansville Company.

Figura 15.

Promedios de flujo relativos
y capacidades de filtración
con diferentes ayudas filtran
tes.

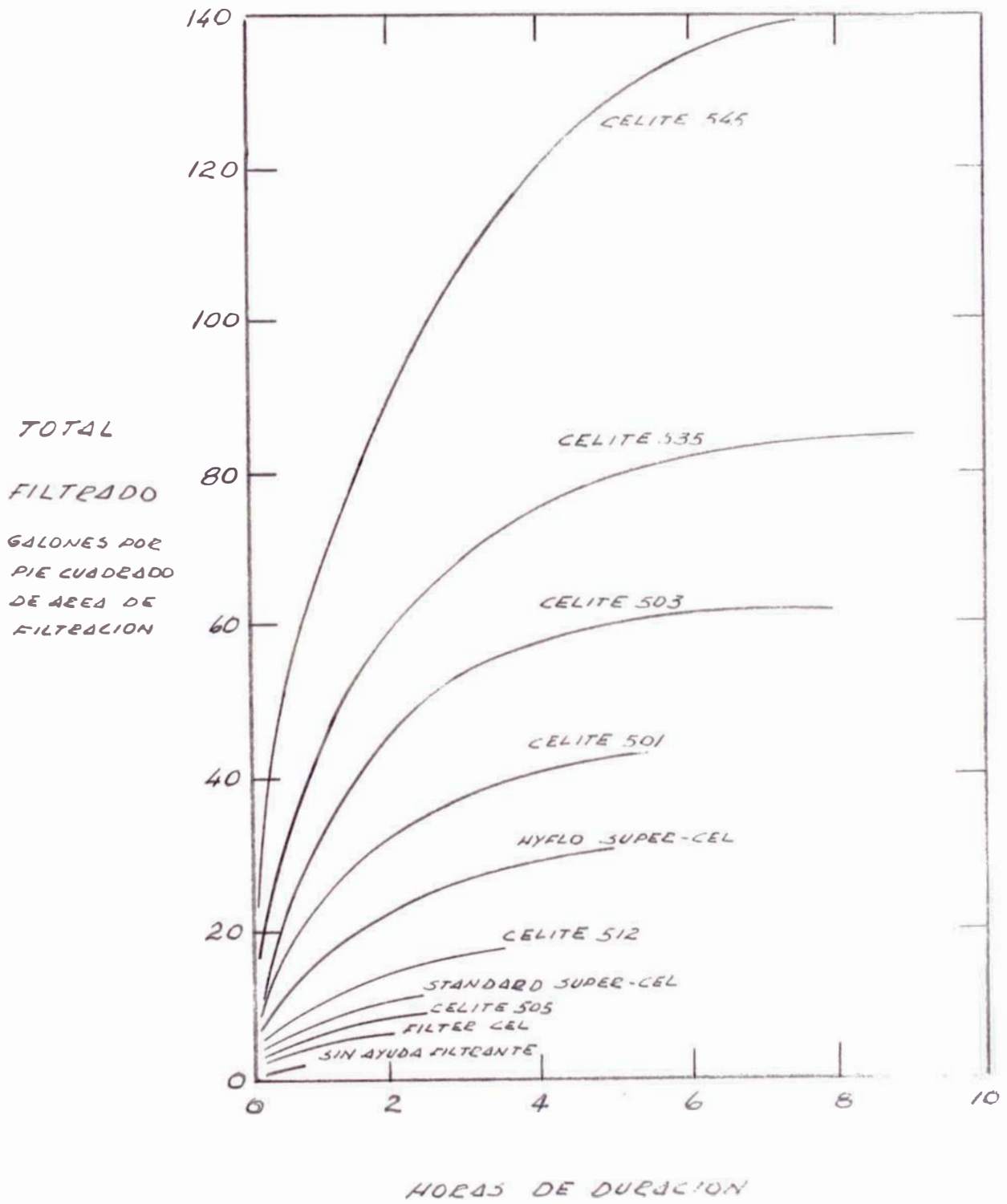
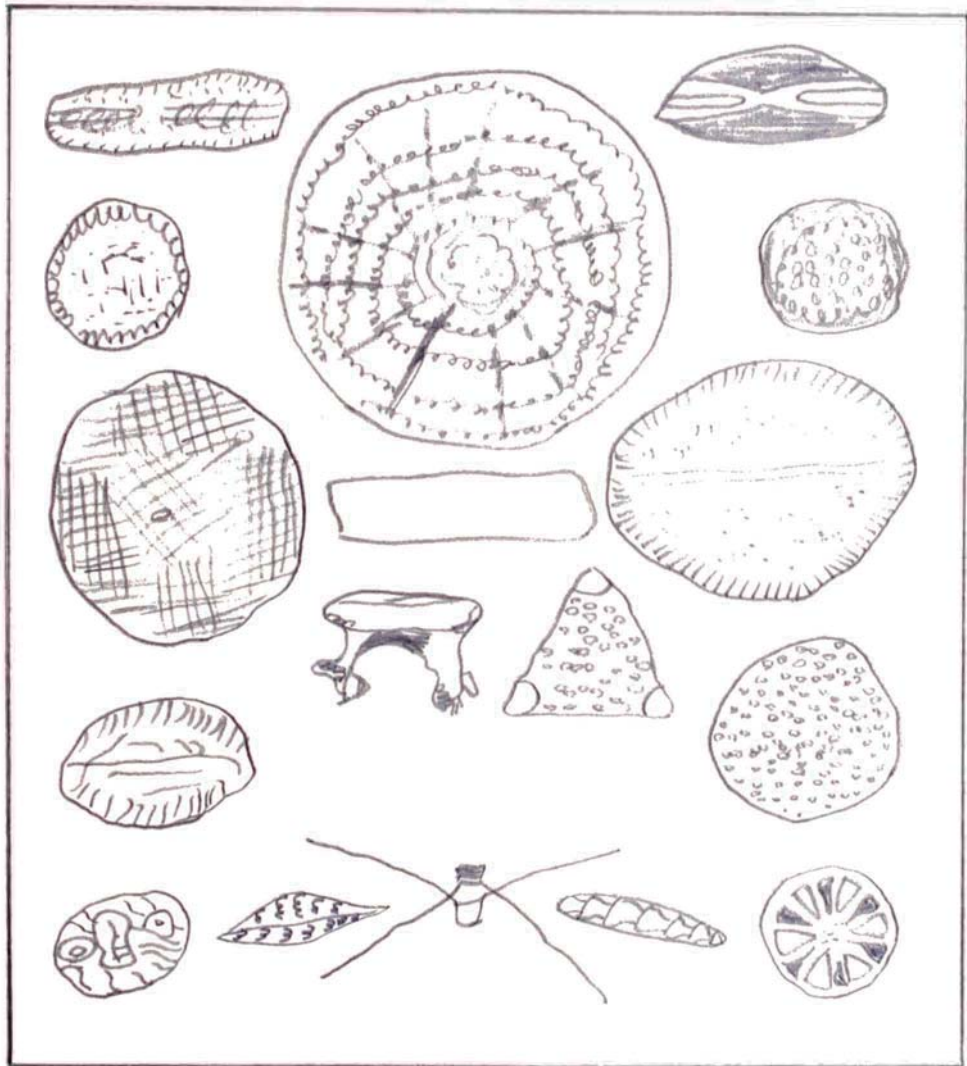


Figura 16.

Microfotografía de la
tierra diatomea.



que las diatoméas morían y se sedimentaban en el fondo de las aguas en las que vivían, formaban extensos depósitos del más puro sílice. Estos depósitos de diatomitas depositados son procesados mineralógicamente en ciertas áreas de California y Oregon y en otros lugares del mundo. Virtualmente toda la diatomita que se utiliza en los Estados Unidos es procesada en Lompoc, California por dos compañías: "The Johns Manville Co." y "The Diomite Division". Los depósitos en Lompoc cubren un área trabajable de 8 á 10 kilómetros cuadrados y alcanzan una profundidad promedio de 21 mts. Es la región más grande del mundo comercialmente conocida.

C.- PROPIEDADES QUIMICAS.-

Diatomita es practicamente puro sílice (SiO_2) y es usualmente descrita como químicamente inerte. Sin embargo, el análisis químico de una muestra en la table (1) indica que la diatomita contiene trazas de compuestos químicamente activos, tales como: Calcio, magnesio y óxidos de sodio.

TABLA 1 - Típico Análisis Químico de la diatomita.⁽¹⁾

| Típico Análisis Químico (libre de humedad) | |
|---|---------------------|
| Composición | Porcentaje por peso |
| Pérdida por ignición ----- | 3.0 |
| Si O ₂ ----- | 89.4 |
| Al ₂ O ₃ ----- | 4.1 |
| Fe ₂ O ₃ ----- | 1.5 |
| Ti O ₂ ----- | 0.1 |
| Ca O ----- | 0.2 |
| Mg O ----- | 0.7 |
| Na ₂ O (K ₂ O) ----- | 0.8 |
| TOTAL----- | 99.8 |

(1) - Tabla reproducida de Johns Manville Products.
Calite Division.

En la práctica, el agua filtrada usualmente aumenta muy levemente en dureza y alcalinidad después de pasar através de una superficie de tierra diatoméa. Esto ha sido demostrado por los resultados de los experimentos en los laboratorios de la Universidad de Illinois U.S.A.. En estos estudios el agua no fué filtrada através de la dia-

tomita, sino en cambio la diatomita fué mezclada directamente con el agua y luego era dejada sedimentar. En los experimentos la concentración de diatomita variaba desde cero a 16 por ciento. Cada mezcla era agitada por diez minutos y dejada sedimentar por 225 minutos. En cada caso un aumento en la concentración de la diatomita mostraba un aumento en la alcalinidad y dureza Fig. 17a. Se realizó también una prueba sobre la posibilidad de que la diatomita ya usada reproduzca estos resultados una segunda vez con un volúmen fresco de agua destilada. La mezcla fué nuevamente agitada durante 10 minutos y dejada sedimentar 23 horas. El agua destilada pura usada, nuevamente mostró un aumento en alcalinidad y dureza Fig. 17b. Las pruebas también indicaron que durante diez minutos de mezcla y 225 de sedimentación los compuestos químicos activos no son lixiviados de la diatomita.

Esto indica que la ayuda filtrante impartirá sus características alcalinas al agua sobre un período considerablemente largo, sin embargo con promedios de flujos mayores, el efecto será probablemente negativo.

Los resultados de éstas pruebas indican que la supuesta inerte diatomita, tiene un efecto

Figura 17.

Efectos de la diatomea
en la dureza y alcalinidad

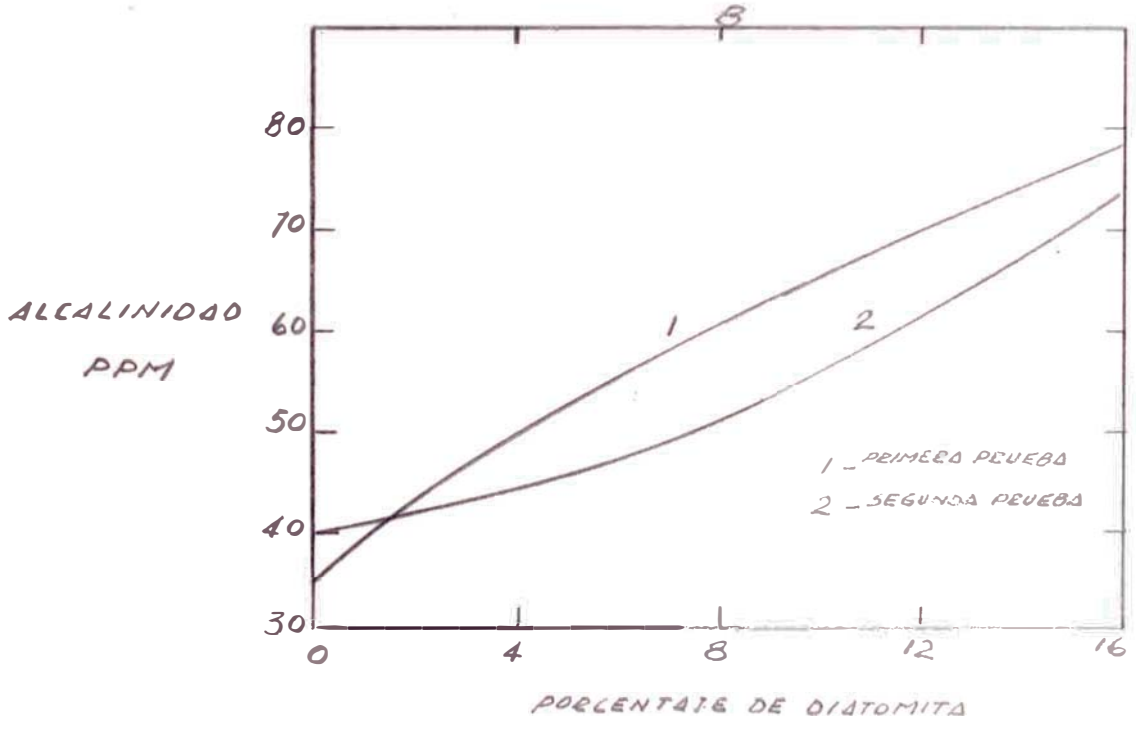
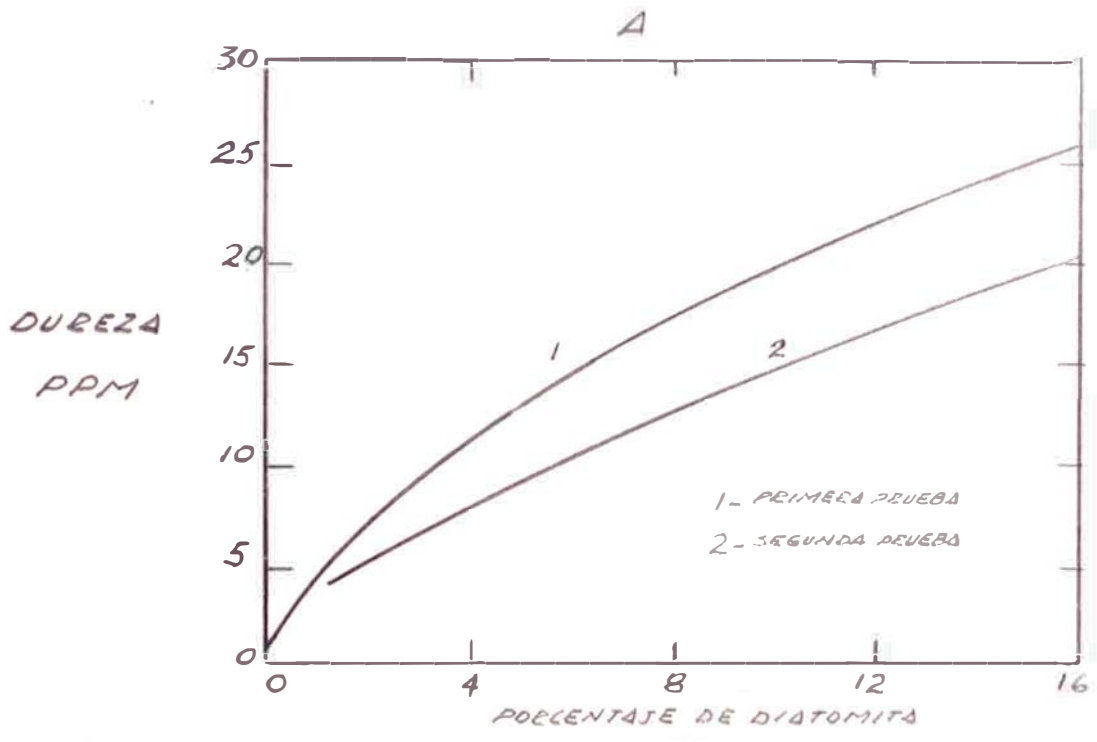


Fig 17

químico en la dureza y olealiniad del agua desti-
lada. Esta conclusión fué confirmada en muchos
laboratorios.

La Compañía John Manville dá un report sobre
la gravedad específica de la diatoméa de acuerdo al
método de obtención.

No calcinada - 2.00

Calcinada 2.30

D.- PROCESO.-

Las características y propiedades que hacen
la diatomita deseable como ayuda filtrante, son de-
pendientes directamente de la estructura de la dia-
tomita encontradas en los depósitos. Por consiguien-
te, debe tenerse cuidado durante el proceso para
preservar las estructuras originales de cada diato-
mita. Para sacar el material generalmente se usan
palas mecánicas pero palas manuales son usadas tam-
bién para mayor cuidado y para la selección de cier-
tos tipos de material. Después de haber sacado el
material, la diatomita es clasificada de acuerdo a
su densidad y estructura y enviada a un molino. La
primera operación del molino es la remoción de hu-
medad, que le quita un 50% del peso de la diatomita
extraída de las canteras.

Después, la diatomita es molida hasta formar un polvo finamente dividido de diatomitas individuales. Las diatomitas molidas son llevadas por una corriente de aire através de un sistema de ciclones y mallas para la separación por tamaño y forma, y luego enviarlos a los hornos si van a ser procesados después.

Las ayudas filtrantes pueden ser separadas en tres tipos de acuerdo a el proceso que cada tipo recibe.

- 1- Ayudas filtrantes Naturales, producidas por secado, molienda y separación por aire de las diatomitas.
- 2- Ayudas filtrantes calcinadas producidas por molienda, calcinación y separación de aire. En este proceso la separación por aire puede llevarse a cabo tanto antes como después de la calcinación.
- 3- Calcinación, ayudas filtrantes tratadas químicamente producidas por secado, molienda separación por aire y calcinamiento en la presencia de una sustancia química, generalmente una sal de CO_3Ca .

La calcinación aumenta la ayuda filtrante causando vitrificación de los bordes de las diatoméas.

Esto hace que la diatoméa actúe como partículas más grandes y aumente el promedio de flujo en casos donde ayudas filtrantes calcinadas son usadas. La adición de una sal de carbonato sódico en pequeñas cantidades durante la calcinación origina que las partículas pequeñas se aglomeren, resultando una ayuda filtrante con una porosidad mayor.

E.- PROPIEDADES DE FILTRACION.-

1- Tamaño de Partículas y Forma.-

Estructuras del keke filtrante con diferentes tamaños de aberturas ó intersticios, se obtienen variando el tamaño de las partículas de ayuda filtrante, ó en su defecto variando de tipo de ayuda filtrante.

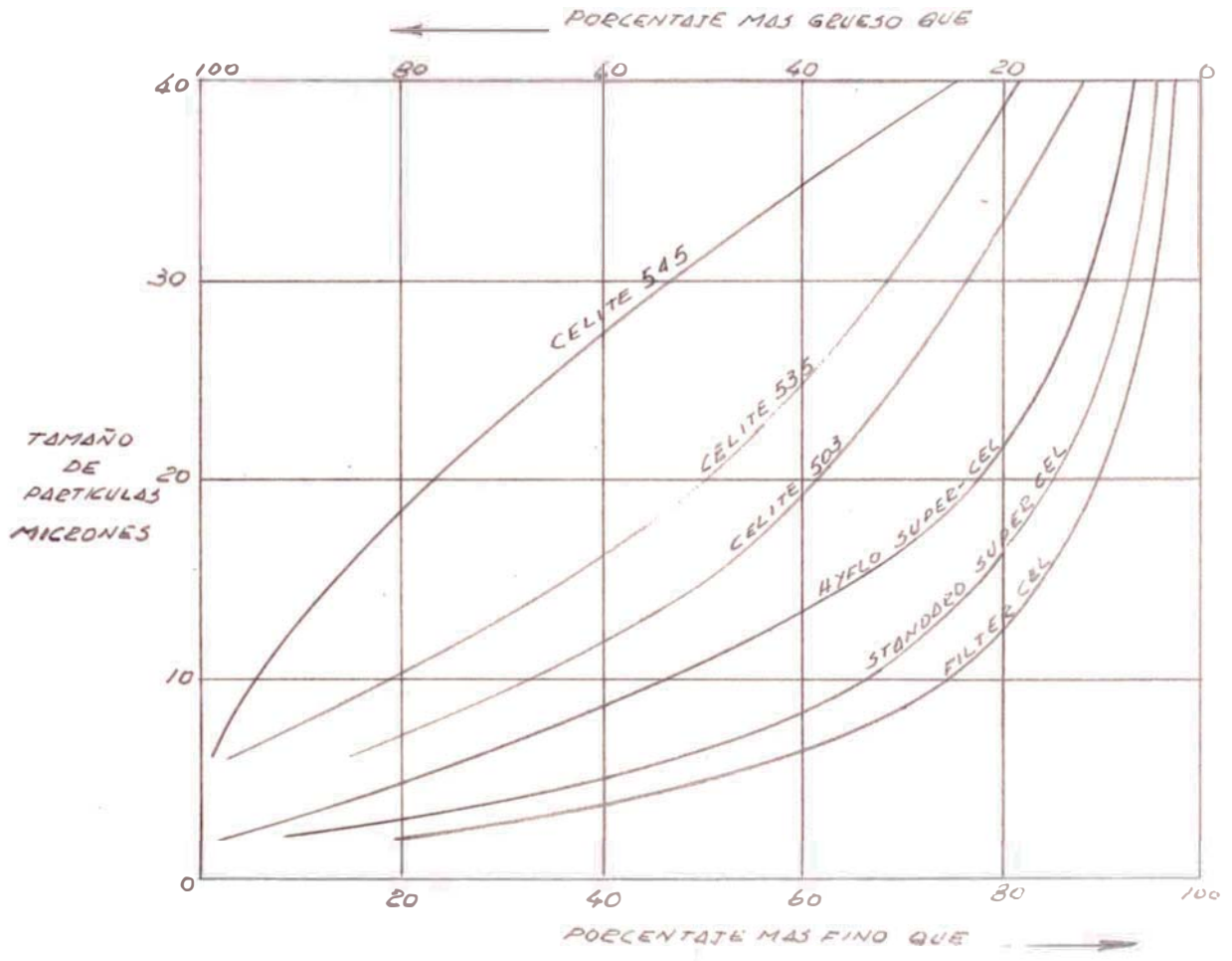
Las curvas de distribución del tamaño de partículas para un mínimo de diferentes ayudas filtrantes producidas por Johns Manville Co. se ilustran en la figura 18. El gráfico muestra un aumento en tamaños de partículas desde el Filter-cel que consiste predominantemente de partículas de 1 - 12 micrones de diámetro hasta el Celite 545 que contiene partículas que oscilan en un rango de 12 - 40 micrones de diámetro.

Baumann condujo una serie de pruebas para

Figura 18.

Distribución del tamaño de partículas de varios tipos de ayudas filtrantes.

Fig 18



determinar el efecto de cargas aplicadas mecánicamente en el tamaño de partículas del Celite 535. Las pruebas fueron realizados con el uso de métodos y aparatos normalmente utilizados en investigaciones de mecánica de suelos. Primero la ayuda filtrante fué comprimida en un consolidómetro colocando una carga predeterminada en el aparato. Luego un análisis del tamaño de partícula de la muestra fué medida por el método de sedimentación ó hidrómetro.

A pesar de que la forma de la diatoméa puede ser de menor importancia que la distribución del tamaño de ella, forma y tamaño están relacionadas. Las partículas más grandes tienen forma de discos y de hoja y las más pequeñas consisten de espéculas y fragmentos.

2- Promedios de Flujo.-

La capacidad de un filtro de diatoméas es generalmente expresada en galones por minuto y por pié cuadrado de área filtrante. Los promedios de flujo obtenibles con una ayuda filtrante dada depende de: Area filtrante, carrera de filtración, presión de la bomba, viscosidad y temperatura del filtrante y finalmente naturaleza, tamaño y cantidad de materia suspendida a ser

removida. La naturaleza, concentración y tamaño de la materia suspendida, son de particular importancia en la selección de la ayuda filtrante que nos dará promedios de flujo económico con los resultados deseados.

Es difícil expresar la capacidad del promedio de flujo de las ayudas filtrantes sobre una base teórica. Para poder diferenciar las características del flujo de los diferentes materiales, es costumbre hacer pruebas de filtración de materiales a ser comparados bajo ciertas condiciones standards. Para poder demostrar las características de flujo del Celite, La Compañía Johns Manville, preparó de los resultados de una serie de pruebas en la que un jarabe fué usado como filtrante.

Del gráfico 18, es evidente que las ayudas filtrantes más gruesas Celite 545, dá los promedios de flujo más altos para el filtrante particular considerado, que la ayuda filtrante más fina el Filter-cel. En este ejemplo, el flujo total a través del Celite 545 es 90 galones por pié cuadrado de área filtrante después de dos horas de carrera, para el Filter-cel, el flujo total después de el mismo tiempo de duración es aproximadamente siete galones por pié cuadrado de área

de filtración.

Otras ayudas filtrantes en el gráfico 18 con aumentos de grosor darán correspondientes aumentos de flujo. La razón para la existencia de ayudas filtrantes tan finas en el comercio, es que a pesar de que los promedios de flujo aumentan con el grosor de sus partículas, la claridad del filtrante generalmente no lo hace. Por lo tanto, en muchos casos las ayudas filtrantes más finas son las únicas que darán una filtración satisfactoria. Sin embargo, se debe enfatizar que las relaciones entre las ayudas filtrantes que son buenas para un tipo de filtrante no lo son necesariamente para otro.

Un método generalmente aceptado para determinar cual ayuda filtrante usar para una aplicación particular, es correr pruebas del filtrante con todos los tipos de ayuda filtrante y seleccionar el tipo que dá las características de flujo más altos, para períodos económicos de tiempo y el grado deseado de claridad del filtrante.

3- Efecto de la Compresión Mecánica.-

Es sabido que si se filtra agua destilada a través de diatomita con un promedio de flujo cons

tante la pérdida de carga através del filtro aumenta aún cuando el agua destilada no lleva materia suspendida. Si la filtración es detenida y luego reiniciada después de un período de tiempo, puede notarse que la pérdida de carga es menor cuando la filtración es reiniciada que cuando ella fué detenida.

Se han conducido pruebas de compresión-permeabilidad habiéndose llegado a las siguientes conclusiones:

- 1- El efecto de la compresión mecánica y probablemente del efecto de la compresión hidráulica es comprimir el keke filtrante y reducir su espesor y la correspondiente porosidad y promedio de flujo.
- 2- El cambio del tamaño de la partícula después de ser compactada es permanente.
- 3- La reducción del tamaño de la partícula tiene un tremendo efecto sobre la permeabilidad. Cualquier acción que tienda a reducir el tamaño de partícula ó la porosidad del keke innecesariamente, debe ser evitada. El tamaño de la partícula puede llegar a reducirse cuando la diatomita es agitada en el mezclador, con agitadores muy rápidos o estelizando un ciclo

de presión constante con una intempestiva presión inicial muy alta, ó así mismo con promedio de flujo muy alto.

IV OPERACION DE LOS FILTROS A BASE DE
TIERRAS DIATOMEAS.

A.- PRECOATING.-

El propósito de ésta operación es el de colocar uniformemente una capa de revestimiento de ayuda filtrante sobre las superficies exteriores de las cribas de filtración. Existen dos métodos de realizar ésta operación en los filtros a presión: El primero utiliza un sistema de recirculación con tñua para asegurar que toda la ayuda filtrante es colocada en la criba, mientras que el segundo no utiliza el método de recirculación.

1- Precoating de los filtros a presión con recirculación.-

En éste método de precoating, una cantidad predeterminada de ayuda filtrante, usualmente 0.10 á 0.12 lbs por pié cuadrado de área filtrante el colocada en el recipiente de precoat (ver sección II-C). Luego agua filtrada es bombeada desde un reservorio de nivel constante, pasando por el recipiente donde se halla la ayuda filtrante reuniéndola y la mezcla ingresa al albergue por la entrada del agua cruda. La mezcla es entonces filtrada por las cribas siendo las

partículas de las ayudas filtrantes depositadas en la superficie exterior de la criba. El agua filtrada que ha fluído del albergue durante los primeros momentos de la operación tiene generalmente suspendidas partículas de ayudas filtrantes, las que fueron suficientemente finas para pasar la criba. Por este motivo el agua es regresada nuevamente por medio de un sistema de recirculación, através del recipiente del precoat y nuevamente al albergue. En las pasadas siguientes a través del filtro las partículas que atravesaron la criba son ahora retenidas por el keke filtrante que se ha depositado en la criba.

La ventaja de éste método es que la recirculación de el efluente durante el ciclo de precoating, puede ser repetida tantas veces como sea necesaria, para asegurar una completa deposición de la calculada cantidad de agua filtrante en las cribas. Lo que trae consigo que el agua de precoating no se pierda. La principal desventaja es que el equipo usado es complicado y costoso y además se necesita un tiempo adicional para el mencionado proceso.

2- Precoating de los filtros a presión sin recirculación.-

En éste método, una cantidad predeterminada de agua filtrante es colocada en un pequeño recipiente lleno de agua el que se encuentra a un costado del albergue (Fig. 13 B). Momentos antes del comienzo del ciclo del precoating, la ayuda filtrante que se encuentra en la vasija es dejada caer por gravedad al fondo del albergue. Luego agua filtrada es bombeada entrando por la tubería de agua cruda. A medida que el agua sube por el albergue, ésta lleva en suspensión las partículas de ayuda filtrante las que habían sido previamente colocadas en el fondo del albergue. La ayuda filtrante es llevada a las cribas de la manera descrita en los filtros con recirculación. Después de pasar por las cribas, el agua filtrada es dejada caer al desagüe. El ciclo se continúa hasta que toda la agua filtrante haya sido depositada en las cribas. Parte de las partículas que llegan primero a la criba atravesarán la criba y serán perdidas.

Las ventajas de éste método sobre el anterior usando recirculación, estriba en la simpli-

cidad del equipo de precoating y la relativa corta duración del ciclo.

La desventaja principal es que parte de la ayuda filtrante y agua del precoating es perdida en este ciclo. Hay aparentemente una tendencia a la formación de menor uniformidad en el precoating.

Los filtros al vacío pueden igualmente ser usados con ó sin recirculación. Sin embargo cualquiera fuere el método usado, la ayuda filtrante para el precoat es colocada en forma manual a la entrada del agua cruda a la cámara.

B.- FILTRACION.

Después que el ciclo de precoating ha sido terminado, las válvulas de la instalación del filtro están ajustadas de modo que el agua por filtrar, sea bombeada dentro del compartimiento de agua cruda de la estructura del filtro y el agua filtrada pueda fluir dentro del sistema de distribución (Fig. 2). A medida que el ciclo de filtración continúa, la materia suspendida en el agua entremezclada con las partículas de ayuda filtrante del body feed, es depositada en la superficie y en los intersticios subsuperficiales del precoat. La dis-

posición de la ayuda filtrante y de la materia suspendida causa el aumento de la resistencia del flujo, y al mismo tiempo también causa el aumento de la pérdida de carga a través de la criba. La filtración es continuada, hasta que un máximo predeterminado de pérdida de carga permisible la que es limitada principalmente por la potencia que alcance el servicio de bombeo.

El efluente puede ser bombeado ya sea directamente dentro del sistema de distribución ó dentro del almacenamiento del reservorio. Si el agua es bombeada dentro de un tanque de almacenamiento de tierra, una válvula flotante debe ser provista, la que cerrará la bomba filtrante principal cuando el reservorio esté lleno. Otra bomba de alto servicio es provista para transferir el agua filtrante del reservorio al sistema de distribución. Si la bomba de servicio va a ser cerrada de esta manera, es necesario que la instalación del filtro incluya una pequeña bomba de recirculación conectada entre un pequeño tanque de reservorio y la tubería de entrada de agua cruda. El propósito de esta bomba es para circular el agua filtrada a través del filtro, así manteniendo el keke filtrante en su lugar en la criba, cuando la bomba filtrante principal

sea cerrada por la acción del control automático en el tanque de reservorio de agua filtrada. La bomba de recirculación debe ser instalada para operar automáticamente cuando la bomba de servicio principal se cierra (Ver la figura 3)

C.- LAVADO.-

Al final del ciclo de filtración, el keke filtrante usado consistente de precoat, body coat, e impurezas removidas del agua deben ser lavadas de la criba antes que una nueva secuencia de pre-coating y filtración puedan ser comenzadas.

El lavado de la criba se efectúa generalmente invirtiendo el flujo de agua filtrada através de la criba y del compartimiento del agua filtrada al compartimiento de agua cruda. El filtro puede ser diseñado de modo que esta operación sea efectuada por uno ó una combinación de varios métodos. Los métodos y equipo usado más comunmente en lavado son tratados en detalles considerables en la sección II c.

V TEORIA DE OPERACION

A.- PROMEDIO CONSTANTE CONTRA FILTRACION DE PRESION CONSTANTE.-

Dos métodos de operación son normalmente usados con filtro de diatomita: Promedio constante y filtración de presión constante.

La figura 19, ilustra los ciclos ideales asociados con estos dos métodos.

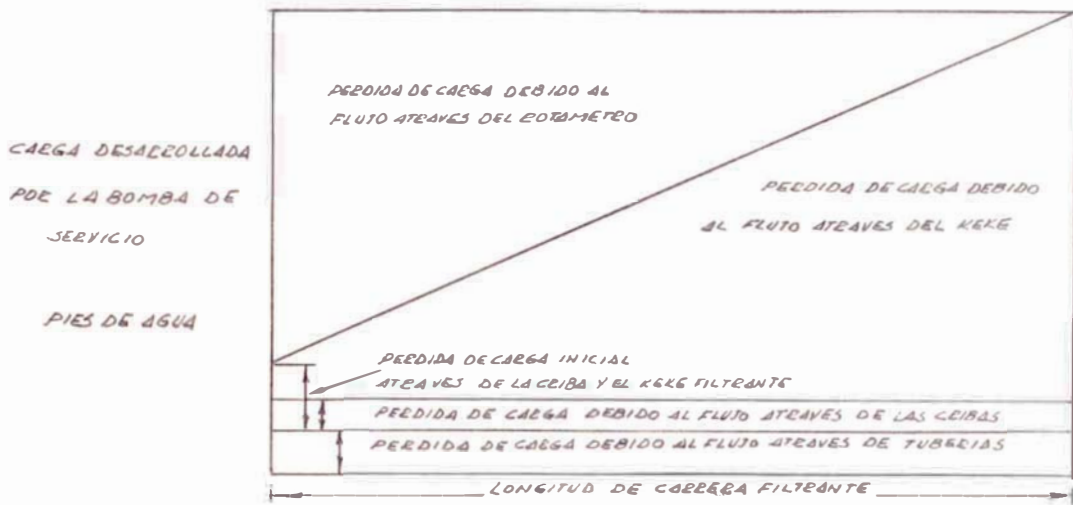
El método de promedio constante, un mínimo terminado de promedio de flujo es estipulado generalmente de uno a tres galones por minuto, por pié cuadrado de superficie de criba filtrante, y la superficie suficiente es provista para dar el mínimo promedio filtrante constante deseado.

La pérdida de carga a través del filtro mismo es la suma de pérdida de carga a través de cuatro componentes del filtro (figura 19).

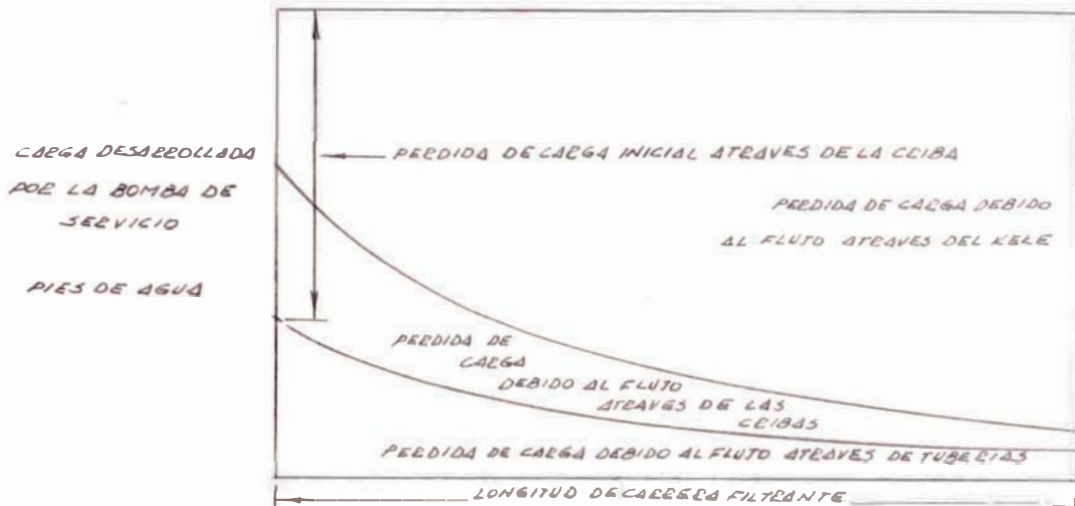
- 1- La pérdida de carga de la tubería y de la estructura del filtro permanece constante durante el ciclo de filtración.
- 2- La pérdida de carga de la criba permanece constante durante el ciclo de filtración.

Figura 19.

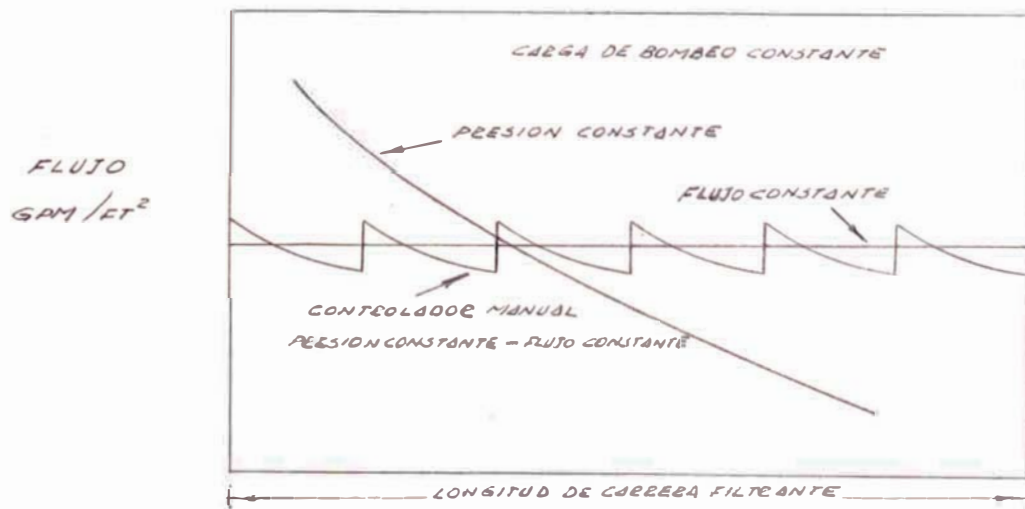
Características de los ciclos
filtrantes usando tres métodos
de operación.



(A) CICLO FILTRANTE IDEAL DE PROMEDIO CONSTANTE



(B) CICLO FILTRANTE IDEAL DE PRESION CONSTANTE



(C) CUADRO COMPARATIVO DE FLUJO VS TIEMPO PARA UNA FILTRACION DE FLUJO CONSTANTE Y PRESION CONSTANTE

- 3- La pérdida de carga del keke filtrante (revestimiento primario más secundario) aumenta durante el ciclo de filtración a medida que la ayuda filtrante y sus sólidas entrampadas forman un keke cada vez más grueso, en las cribas.
- 4- El promedio de pérdida de carga en la válvula del control de flujo es inicialmente alta, pero decrece durante su recorrido del filtro a medida que la válvula se abre para mantener un promedio constante de flujo.

Durante el ciclo de filtración, la bomba filtrante proporciona una presión constante de carga para empujar el agua através de los filtros. Una válvula de control de promedio de flujo manual ó automática, situada en la línea de efluente del filtro, controla el flujo del promedio del flujo predeterminado. Al principio del ciclo, la válvula de control de promedio de flujo está en la posición más cerrada que asumirá durante el ciclo, y cuenta la mayor pérdida de carga total a través del filtro. A medida que el ciclo de filtración continúa, la pérdida de carga, a través del keke filtrante aumenta debido a la formación del medio filtrante y a las partículas suspendidas en las cribas

revestidas. A medida que la carga a través del keke filtrante aumenta, el promedio de flujo a través del filtro tiende a decrecer. La tendencia del promedio del flujo a decrecer motiva la abertura gradual de la válvula automática de control de promedio de flujo, así decreciendo la pérdida de carga a través de la válvula y estableciendo una tendencia del promedio del flujo a decrecer. Esta acción compensadora propia del filtro mantiene un promedio constante de flujo, hasta cierto tiempo a medida que la válvula de control de promedio de flujo ya no pueda influenciar en el promedio del flujo (figura 9). En este momento el ciclo filtrante está terminado y las cribas deben ser lavadas y nuevamente revestidas antes que la filtración pueda ser continuada.

La principal ventaja en el método de operación de promedio constante es que, al comienzo del ciclo la pérdida de carga a través del keke filtrante baja. Consecuentemente, la probabilidad de la partícula de diatomita a derrumbarse con la correspondiente disminución en la permeabilidad de la capa del precoat al comienzo del ciclo, es reducida. También desde que el promedio del flujo es constante el mantenimiento de un body feed uniforme es simplificado.

En el método de filtración por presión constante, la caída de presión a través del filtro es mantenida constante y el promedio de flujo decrece a medida que la pérdida de carga a través de la criba del keke filtrante aumenta.

La pérdida de carga total a través del filtro mismo es la suma de las pérdidas de carga de tres componentes del filtro, como se muestra en la figura 19. Estos componentes son:

- 1- La pérdida de carga de la tubería y de la estructura decrecen a medida que el promedio del flujo decrece.
- 2- La pérdida de carga en la criba decrece a medida que el promedio de flujo decrece.
- 3- La pérdida de carga del keke filtrante (pre-coat más body feed) aumenta durante la carrera del filtro a medida que la ayuda filtrante y las partículas suspendidas se forman en la criba.

Durante el ciclo de filtración la bomba filtrante provee una carga de presión constante a través del filtro. Inicialmente, el promedio del flujo es alto, desde que un elevado promedio de flujo se necesita para utilizar la completa presión de des-

carga de la bomba. Ninguna válvula automática de control de promedio de flujo es provista para absorber algo de la carga disponible. A medida que el body coat y las partículas suspendidas se forman en la criba revestida, la pérdida de carga a través de la criba y del keke filtrante aumenta, resultando una baja en el promedio del flujo a través del filtro. A medida que el promedio del filtro a través del filtro decrece, la pérdida de carga a través de la tubería, estructura y criba también decrece. Sin embargo, cuando la filtración progresa, la presión total de carga a través del sistema filtrante permanece constante.

Existen tres desventajas principales en el método de filtración por presión constante:

- 1- Puesto que el promedio del flujo no es constante, el body feed, el cual por óptimo resultadas es añadido en alguna proporción a las impurezas suspendidas en el agua, debe ser aumentado en promedios variables. Esto necesita equipo más complicado y costoso.
- 2- La alta pérdida de carga inicial a través de la criba y del keke filtrante probablemente conduce a la ruptura de las partículas de ayuda

filtrante en la capa de precoat, decreciendo en porosidad y permeabilidad causando ciclos de filtración más cortas.

- 3- El flujo promedio variable en la instalación municipal podría complicar innecesariamente el plan de almacenamiento para el agua filtrada.

La figura 19 c compara el promedio de flujo producido por el filtro durante el tiempo de un curso de filtración hipotético cuando se usan los métodos de filtración de promedio constante y de presión constante. La curva para una operación de presión constante indica que existe un mínimo flujo promedio debajo del cual sería impracticable continuar el ciclo de filtración. La curva de promedio constante (línea recta) indica que la filtración puede ser continuada en un promedio constante deseado hasta que la pérdida de carga através del filtro sea igual a la carga provista por la bomba filtrante. En general, el ciclo de promedio filtrante es significativamente más largo que el ciclo de presión constante.

En algunas operaciones de filtración usadas

en la práctica, una combinación del ciclo de promedio de flujo constante y presión constante es usado.

Si el control de promedio de flujo es operado manualmente, el período de filtración entre ajustes de la válvula de control promedio de flujo es esencialmente un ciclo de presión constante. Si el promedio de flujo es ajustado con suficiente frecuencia, el ciclo sobre todo tiende a ser un ciclo de promedio constante. Por ejemplo, vea la figura 19 c. Si los ajustes manuales necesitan ser hechos poco frecuentes, dígase una vez cada seis u ocho horas como en las operaciones de las piscinas, este método de filtraciones elimina el costo de la válvula de control automático de promedio de flujo que son relativamente caras. Si los ajustes deben ser hechos al menos entre intervalos de tres ó cuatro horas para mantener el promedio de flujo relativamente constante, la válvula de control automático de promedio de flujo debè ser usada para preservar las ventajas de la filtración de promedio constante.

B.-PROPOSITO Y USO DE LA AYUDA FILTRANTE.-

La ayuda filtrante usada en la filtración de

agua de diatomita, tiene la función de remover las partículas suspendidas del agua mientras se mantiene abierto un keke poroso para el paso fácil del agua. En las usuales aplicaciones filtrantes, la ayuda filtrante es aplicada a la criba en dos fases distintas. La primera fase de la aplicación de la ayuda filtrante es llamada precoating y a segunda fase es llamada body coating.

1- Precoating (revestimiento primario)

En la primera fase, una cantidad prede-terminada (por pruebas de campo para una aplicación particular) de ayuda filtrante, calculada en la base de libras de pié cuadrado de superficie de criba es revestido en las cribas.

La capa resultante de la ayuda filtrante en la superficie de las cribas es llamada precoat. Es característica de la filtración por diatomeas que las partículas de turbiedad removidas de agua en promedios normales de filtración (de uno a tres gpm. por pié cuadrado) no penetra dentro de los intersticios de la capa formada de precoat a ningún grado, pero rápidamente forma una capa impermeable en la superficie que blo-

quea los poros de la superficie del revestimiento y cubre la superficie de el. Bajo éstas condiciones la pérdida de carga através de la capa de precoat cubierta de impurezas asciende rápidamente al punto donde es necesario remover la ayuda filtrante de la criba, arrojándola al desagüe, y reaplicar un nuevo precoat antes que la filtración pueda ser continuada en un promedio económico.

En la selección de la ayuda filtrante para ser usada es necesario considerar la porosidad de la criba filtrante, el carácter de las partículas suspendidas contenidas en el agua, y el grado de claridad deseada en el efluente filtrante durante las etapas iniciales del curso del filtro.

Generalmente, con el propósito de remover las partículas de materias suspendidas de un tamaño dado, una ayuda filtrante es seleccionada, la cual producirá un precoat cuyas aberturas intersticiales son más pequeñas que las partículas que serán removidas. Consecuentemente, el grado de claridad obtenida en el efluente filtrante puede ser controlada por la ayuda

filtrante escogida.

La cantidad ideal de precoat para ser usada en cualquier filtro particular es la cantidad mínima necesitada para proteger el elemento filtrante de la obstaculización con impurezas, mientras se produce un efluente de claridad y cantidad deseada.

Cuando la operación de precoating comienza, la primera partícula de ayuda filtrante para alcanzar la criba comienza a cubrir las aberturas de éstas.

A medida que las aberturas son cubiertas, la pérdida de carga a través de la criba aumenta rápidamente; mucho más que en proporción directa a la cantidad de ayuda filtrante añadida. Después que todas las aberturas de la criba están cubiertas ó llenas de ayuda filtrante, cualquier aumento de pérdida de carga adicional es debido solamente al aumento en grosor de la capa de precoat, y la pérdida de carga está en proporción directa al peso añadido de ayuda filtrante. También, el promedio de aumento de pérdida de carga es mucho menor de lo que era inmediatamente después de comenzar el ciclo de precoat.

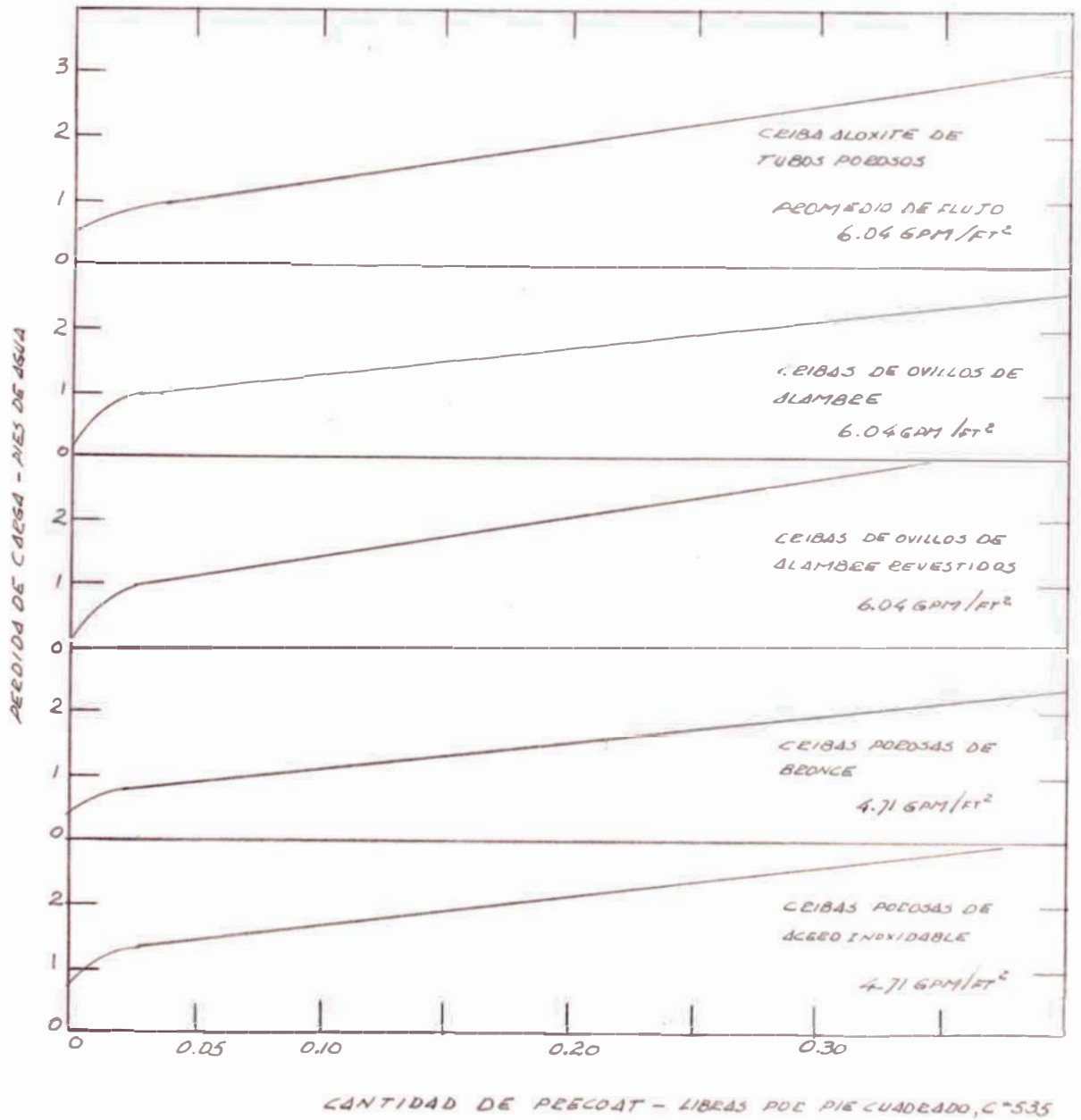
En la figura 20, el punto donde las curvas se enderezan, y empiezan a mostrar una relación de línea recta entre la pérdida de carga y la cantidad de ayuda filtrante precoat añadida, es el punto donde el coating de la criba ha sido terminado. En casos usuales, un precoat de 0.10 lbs. por pié cuadrado de área filtrante es usado. Esta cantidad resulta en un keke filtrante un grosor aproximadamente $\frac{1}{8}$ de pulgada.

Ha sido señalado anteriormente que las partículas de materia suspendida removidas del agua no penetran en la capa de precoat a ninguna profundidad apreciable, pero tiende a formar una capa impermeable sobre la superficie del precoat. El grosor de esta capa, y la profundidad de penetración de precoat serán los mismos para una capa delgada de precoat como ellos serán para una capa gruesa.

Así, la porción interior de precoat que no es penetrada por las partículas de impurezas removidas, no se necesita para la operación filtrante, y su eliminación proporcionaría una filtración más económica porque menos ayuda filtrante sería

Figura 20.

Efecto de la cantidad de re-
vestimiento primario (precoat)
sobre la pérdida de carga a
través de la criba.



usada, y la pérdida de carga através de la criba debido al grosor adicional, sería eliminado.

Pruebas han indicado que con el uso de cierto tipo de criba un precoat tan pequeño como de 0.25 libras por pié cuadrado de área filtrante es efectivo en precoating suficientemente para una operación segura (20) (fig.20).

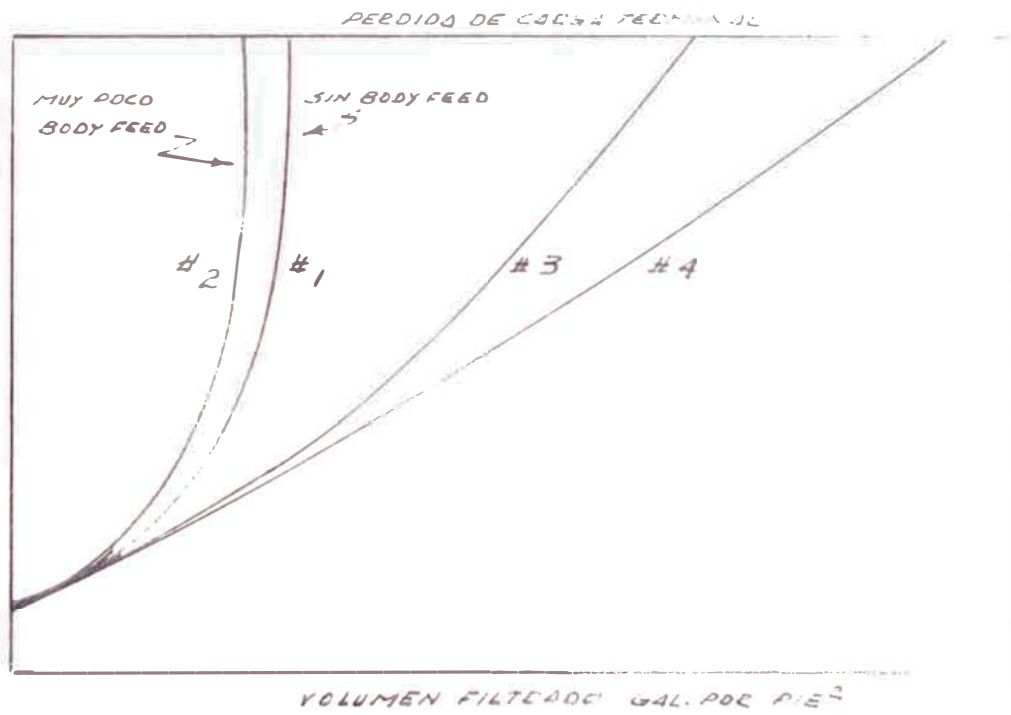
El uso de la capa de precoat tan solo para filtración de agua es impracticable para alguna aplicación donde una agua de alta turbiedad sea esperada. La filtración de agua de piscina con un contenido de baja turbiedad es un ejemplo de una aplicación donde la capa de precoat debe ser económicamente usado como el exclusivo medio de filtración.

Curva número 1, figura 21, ilustrará el relativamente bajo volúmen total de agua filtrada durante un ciclo de filtración cuando la capa de precoat solo es usada como el medio de filtración. La curva para el ciclo de filtración obtenida usando una capa de precoat más varias cantidades de body feed son comparadas.

Figura 21.

Efecto del método del uso
de ayuda filtrante en el
volumen de agua filtrada.

PERDIDA DE CARGA EN PIES DE AGUA
ATRAVES DE LA CRIBA Y KEKE FILTEANTE



2- Body Coat.- Revestimiento Secundario.

La segunda fase de aplicación de ayuda filtrante a la criba sirve para prevenir la formación de la característica capa impermeable de precipitado en la superficie de precoat. Después que el precoat ha sido formado, y cuando el ciclo de filtración es comenzado, una cantidad calculada de ayuda filtrante (conocida como body feed) es introducida continuamente del aparato de body feed dentro del orificio de entrada, de la tubería de agua cruda durante el ciclo de filtración. Las partículas de ayuda filtrante son llevadas en suspensión con las partículas suspendidas, a la superficie de la criba filtrante. La capa así formada es llamada body coat y consiste en partículas de turbiedad entremezclada con partículas de ayuda filtrante. La ayuda filtrante usada de ésta manera sirve para mantener el keke filtrante en un estado poroso, preveniendo el saturamiento del revestimiento primario y aumentando la longitud del recorrido del filtro. En cualquier operación filtrante, es esencial que se lleven a cabo pruebas de campo, para determinar la cantidad apropiada de body feed requerido. Se cree

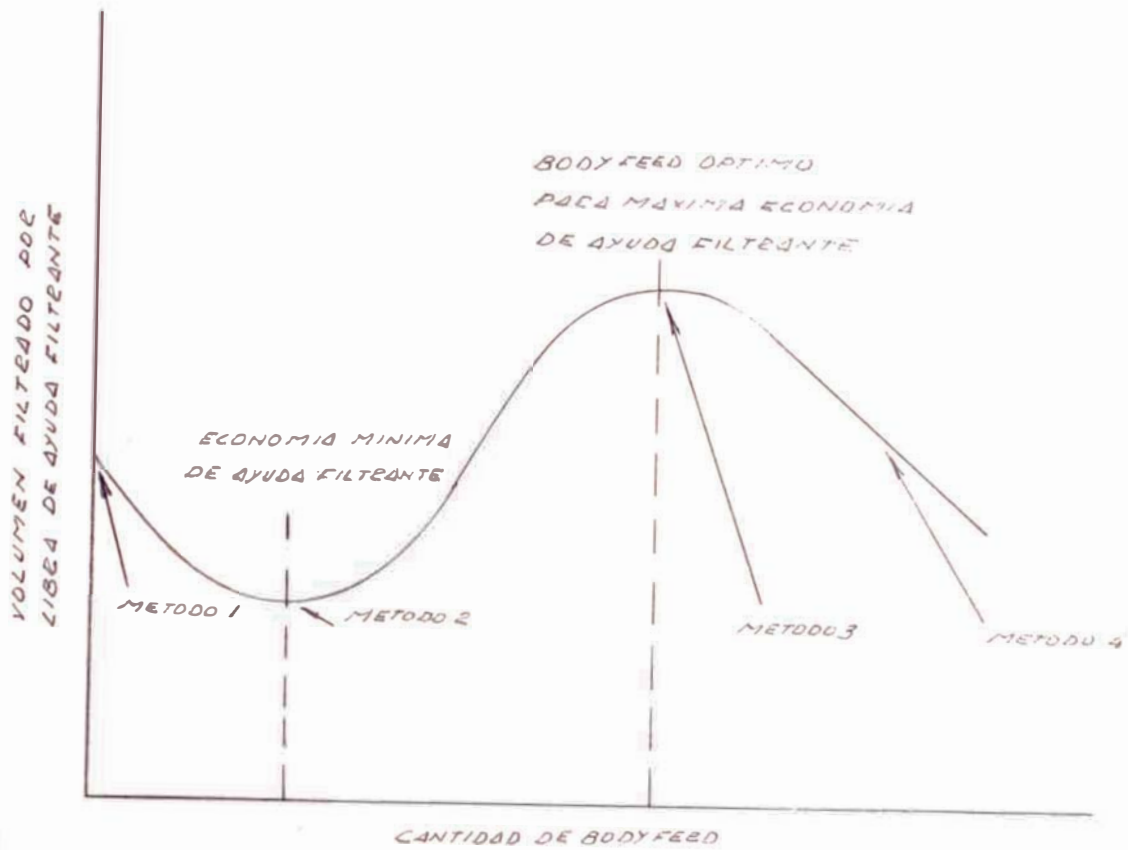
generalmente que a medida que la proporción de body feed añadida al agua cruda es aumentada, la porosidad del keke filtrante resultante aumentará, proporcionando así una carrera del filtro mas largo. Sin embargo, si la cantidad de body feed añadida es muy pequeña en comparación a la cantidad de turbiedad presentada, la porosidad del keke filtrante no será aumentada. En este caso el grosor de la capa de body coat será mas grande de lo que ésta podría haber sido, si ningún body feed fuera agregado, pero la porosidad no será afectada. Esto causará carreras de filtración más cortos y producción de menos agua por libra de ayuda filtrante que sería el caso si ningún body feed fuera usado (Vea la curva N^o 2, figura 20). A medida que la cantidad de body feed es aumentada sin embargo, la proporción de body feed a materia suspendida aumenta a un punto donde la porosidad del keke tenderá a aumentar. El efecto adverso de la porosidad aumentada, y cursos filtrantes mas largos serán realizados, ahí existe, entonces, una cantidad de body feed la cual produce una mínima cantidad de líquido filtrado por libra de ayuda filtrante.

A medida que la cantidad de body feed es aumentada todavía más, la porosidad del keke filtrante aumenta, y la producción de agua por libra de ayuda filtrante (economía de ayuda filtrante) también aumenta. Eventualmente, sin embargo, es alcanzando un punto donde mayores adiciones de body feed resultara en un keke filtrante hecho casi enteramente de ayuda filtrante. Cuando esto sucede, mayores adiciones de body feed solamente tienden a aumentar el grosor del keke filtrante sin aumentar más aún su porosidad. En este punto la economía de ayuda filtrante ha alcanzado su máximo. Aunque nuevos aumentos en promedios de aplicación de ayuda filtrante resulta en largos recorridos, la economía es reducida de modo que una parte de la ayuda filtrante no es efectiva en aumentar la porosidad del keke filtrante.

La figura 21 ilustra el efecto del body feed sobre el volúmen de agua filtrada producida en un ciclo de filtración. Las cuatro curvas representan cuatro diferentes métodos por los cuales el body feed puede ser usado. El efecto de los cuatro métodos en la economía de ayuda filtrante es mostrada en la figura 22.

Figura 22.

Típico efecto del uso del
revestimiento secundario
(body feed) en la economía
de la ayuda filtrante.



La curva número 1 representa un ciclo de filtración usando solamente una capa de precoat como medio de filtración. A una presión constante de flujo, la pérdida de carga aumenta gradualmente hasta que la mayor parte de los poros de la superficie de la capa de precoat hayan sido cubiertas por partículas suspendidas. Después de esto, los sólidos removidos forman una capa impermeable de partículas suspendidas renovadas sobre la superficie de la capa de precoat. Mas allá de este punto el promedio de aumento de la pérdida de carga con aumento de volumen es más grande que al comienzo del ciclo.

La curva número 2 representa un ciclo de filtración usando una capa de precoat más una cantidad muy pequeña de body feed. Como se discutió anteriormente, si pequeñas cantidades de body feed son usadas, allí no puede haber algun aumento en porosidad del keke filtrante para proveer un aumento en la producción de agua filtrada.

En realidad, allí puede haber un decremento en la producción de agua, como se

muestra en la curva número 2, y el volúmen de líquido filtrante usada será realmente menor de lo que es en el caso número 1, el uso de una pequeña cantidad de body feed tiene, sin embargo, una ventaja en que taponeará alguna pequeña grieta que podrá formarse en el pre-coat.

La curva número 3, representa un ciclo de filtración usando suficiente body feed para aumentar la porosidad hasta un punto donde el volúmen de agua filtrada producida por libra de ayuda filtrante usada alcance un mínimo. Esta cantidad de body feed proporciona la máxima economía de ayuda filtrante.

Es éste método, sin embargo, la porosidad del keke filtrante no es aumentada hasta el punto donde los efectos obstructores de los sólidos suspendidos en el agua cruda estén completamente superados, y si el agua contiene una gran cantidad de sólidos suspendidos, la producción de agua por ciclo se mantendrá relativamente baja.

La curva número 4, representa un ciclo de filtración en el cual suficiente body feed es usado para superar completamente los efectos

obstructores de los sólidos suspendidos en el agua cruda. Generalmente este método requiere de uno y uno y medio a dos veces la cantidad filtrante usada en el método 3, pero aún con aguas que contienen altas cantidades de partículas suspendidas, la producción de agua filtrada aumenta durante cada ciclo más que el equivalente para el decrecimiento pequeño en volumen de líquido filtrado por libra de ayuda filtrante.

VI DETERMINACIONES A SER CONSIDERADOS EN
EL DISEÑO DEL FILTRO MISMO.

A.- CRIBA.-

1- Típos.-

Los filtros empleando ayuda filtrante de diatomita, pueden esperarse que rindan un agua libre de turbiedad y de organismos patógenos de gran tamaño (tales como los quistes de la Entamoeba Hystolytica y la Shistosoma mansoni cercerías) los cuales son resistentes a la esterilización por cloro. Los filtros pueden quitar también un 99 por ciento de bacterias del agua, pero se debe usar alguna forma de tratamiento químico, para asegurar la protección contra bacterias patógenas. En la mayoría de las instalaciones de plantas municipales y piscinas donde la concurrencia de organismos resistentes al cloro es remota, la criba utilizada debería ser del tipo que sirva solamente como medio de sustentación para la ayuda filtrante. En los filtros de diatomeas para usos municipales con aguas crudas de calidad variable e incierta, la criba debería ser del tipo que sirva como barrera positiva al

peso de organismos patógenos en el caso de la falta de medio filtrante de diatomita. Solamente la criba de metal poroso de poros de tamaño cuidadosamente controlados son económicamente capaces de proveer un filtro con tal protección (9).

Experimentos (20), indican que el tipo ó material de construcción de la criba no influye grandemente en la capacidad de un filtro propiamente diseñado y operado. Tal vez, el tipo de criba influye en la efectividad del lavado, la cantidad de ayuda filtrante requerida para formar un revestido completo, la uniformidad del precoat, y la durabilidad y la resistencia del elemento. Por esa razón el efecto del tipo de criba bajo estos factores deberían ser dados con mayor consideración, especificando el tipo propio de criba para ser usado en filtros de diatomita.

Actualmente, parece que un gran número de pequeñas cribas cilíndricas serían preferidas sobre el uso de un número pequeño de cribas grandes con el propósito de obtener la máxima superficie filtrante por unidad de volumen filtrado .

Sin embargo, existen inconvenientes para usar cribas filtrantes de tamaño pequeño. Una seria desventaja de cribas pequeñas es su falta de rigidez. En instalaciones donde las cribas filtrantes pueden ser más económicamente dispuestas si son largas, una criba de amplio diámetro sería requerida para dar la rigidez necesaria a la criba.

Las experiencias han demostrado que las cribas mayores que 12 pulgadas de longitud debería ser por lo menos dos pulgadas y preferentemente dos pulgadas y media de diámetro para dar la rigidez necesaria. Si se utilizan cribas por encima de 24 pulgadas de largo, se deben usar diámetros mayores a dos pulgadas y media.

2- Efectividad en el revestimiento, lavado y limpieza.

El mejor arreglo entre el tipo de criba necesitada para un lavado efectivo y el necesitado para un buen precoat, sería probablemente de algún tipo de criba porosa. La criba porosa dá el lavado mas eficiente cuando se usa aire comprimido y un revestimiento mejor, que

las cribas con grandes aberturas en las paredes de ella. De las cribas de tipo poroso, los metales porosos son preferidos debido a su pequeño grosor y debido a su reducida susceptibilidad de rotura.

Las cribas porosas de acero limpio son probablemente las más fuertes, más livianas y más fácilmente limpiables del tipo poroso. Ellas pueden ser sumergidas indefinidamente en ácidos y bases para la eliminación de ambos compuestos obstruyentes, inorgánicos y orgánicos. El acero limpio poroso es, sin embargo, menos uniforme en el tamaño de los poros y requiere el uso de tela covertedora para asegurar un precoating uniforme. El material puede ser usado para hacer cualquier tamaño ó forma de criba deseada.

Las cribas de bronce poroso tienen un tamaño de poro uniforme y provee excelentes resultados de precoating y lavado. Ellas son un poco más susceptibles al peligro por choque y por limpieza con ácidos. El tamaño del poro de ambos, bronce poroso y acero limpio poroso pueden ser controlados para proveer una protección de filtración contra

el paso de los quistes.

Las cribas de aloxite poroso ó piedra, tienen sin embargo la ventaja de dar más pequeña pérdidas de carga inicial que la criba de metal poroso con el mismo promedio de flujo y la misma cantidad de precoat. El grado más fino de criba aloxite lava algo más efectivamente que la criba de metal poroso.

Estudios a la fecha, han indicado que los elementos bien tamisados y reforzados son probablemente los más durables y más fácilmente limpiables de todas las cribas. Estas cribas resultan ser las mejores en cuanto a sus propiedades de lavado, aunque ellas no son revestidas tan horizontalmente y uniformemente como lo hacen los tipos de cribas porosas. Las cribas reforzadas al lado de las cribas de metal poroso, también tienen una ventaja, y es que son mucho menos propensas a la deterioración cuando son lavadas con ácidos fuertes ó alcalis. Todas las cribas deben ocasionalmente ser lavadas con productos químicos desde que el uso regular de golpe por aire ó inversión del flujo no es suficiente para remover completamente todas las partículas de material pegajoso o gomoso,

las cuales consiguen obstruir las aberturas de la criba.

3- Características Hidráulicas (20)

Cómo se indicó previamente, la capacidad de un filtro de diatomita no es grandemente afectada por las características hidráulicas de las cribas filtrantes comunmente usadas. Las pérdidas de carga inicial através de la criba revestida con 68 gramos de C. 535 de ayuda filtrante por centímetro cuadrado de filtro y operada a casi 480 m^3 por metro cuadrado y por día variará desde alrededor de 0.60 mts. de agua en el caso de una bien tamisada criba (figura 6 b) A alrededor de 10.70 m. de agua en el caso de una criba porosa de acero limpio, capaz de proveer protección de filtración positiva. Suponiendo una pérdida de carga máxima de 25 mts. de agua, la pérdida de carga inicial con acero pulido poroso representa solamente alrededor de 4 por ciento del total.

Los efectos del tipo de criba sobre las pérdida de carga através de la criba y através del precoat pueden ser resumidos como sigue:

- a)- La pérdida de carga aumenta con el promedio de flujo através de cualquier criba.
- b)- El promedio de aumento de pérdida de carga debido al flujo através de cualquier criba es más grande con los altos promedios de flujo.
- c)- La pérdida de carga através de cualquier criba aumenta directamente a medida que el peso del precoat sobre la criba aumenta.
- d)- Un factor muy importante que determina el efecto del tipo de criba, sobre las pérdidas de carga através de la criba, es el número y tamaño de las aberturas en ella.
- e)- En general, el total de pérdida de carga através de las cribas aumenta con la disminución en el porcentaje de la criba que es superficie abierta, que es; el porcentaje de superficie de criba que permitirá el paso de agua.
- f)- La cantidad de ayuda filtrante necesaria para revestir una criba decrece con la disminución en porosidad ó permeabilidad de una criba, o con la disminución en el tamaño de los huecos en ella.

- g)- El aumento de pérdida de carga através de cualquier criba es mayor antes que la criba sea suficientemente revestida que después de serlo.
- h)- El promedio de aumento en perdida de carga através de una criba después que la criba ha sido suficientemente revestida es directamente proporcional al peso añadido de revestimiento.
- i)- La pérdida de carga através de una criba con un precoat mínimo puede ser menor con una criba de baja permeabilidad que una, con una alta permeabilidad a causa del efecto de la permeabilidad sobre la pérdida de carga y sobre la cantidad de ayuda filtrante necesaria para revestir una criba. Los efectos del método de precoating sobre las pérdidas de carga através de varias cribas pueden ser resumidas como sigue:
- a. En general, el método de precoating tiene poco efecto sobre las pérdidas de carga através de las cribas.
 - b. El efecto de variación del método de precoating es más pronunciado con cribas que tienen grandes aberturas en el nucleo

- ó con cribas que tienen pequeño porcentaje de superficie abierta.
- c. Las cribas que tienen grandes aberturas llevan al desperdicio a algo de la ayuda filtrante, con lo cual se reduce la pérdida de carga.
 - d. Las cribas con pequeño porcentaje de su superficie abierta pueden dar pérdidas de carga más alta cuando precoating sin recirculación, a causa de los revestimientos más desiguales formados con este método. .
 - e. Las diferencias en pérdida de carga producidas por un revestimiento primario con ó sin recirculación de la mezcla no son suficientemente grandes como para influenciar en el diseño de filtros de diatomita usando la mayoría de los tipos de cribas. El promedio de flujo con el cual se aplica el precoat a la criba puede ó no afectar la pérdida de carga através de la criba más precoat, según sea la construcción de la criba. Con cribas porosas de porosidad fina, ningún efecto de promedio de flujo pue-

de ser logrado con flujos por mediadas sobre alrededor de 1200m^3 por metro cuadrado y por día. Con porosidades más toscas, un aumento en el promedio de flujo del revestimiento resultará en una pérdida de carga más alta debido a la gran penetración de la ayuda filtrante dentro de la criba. Las cribas porosas no son notablemente afectadas por variaciones en el flujo, al colocar el revestimiento primario.

4- Posibilidades de proporcionar protección de filtración positiva.

Las cribas de tipo poroso pueden ser utilizadas en filtros de tierras de diatomeas, para proveer una protección de filtración positiva en el caso de la rotura en el medio de filtración primario (revestimiento primario). Aunque es posible asegurar una protección de filtración, utilizando diatomea garantizada la cual removería todos los organismos y turbiedad, incluyendo las bacterias. La capacidad del filtro sería reducida enormemente. Por esa razón, la dependencia en la

protección positiva con cribas, debe ser eliminada al uso de ellas, las cuales removerían organismos del tamaño de aroebic cysts ó organismos más arriba de 9 micrones de diámetro. Las cribas de metal poroso, bronce poroso ó acero limpio poroso pueden usarse para este propósito. Tales cribas no serían requeridas normalmente en piscinas ó en operaciones de filtración de acuerdo con las municipalidades.

5- Telas Covertoras.-

Telas covertoras ó cribas embiertas no son recomendables para usarse con cribas diseñadas para servir solamente como medio de soporte para la ayuda filtrante. En casos donde una criba porosa es usada también como filtro, en caso de una falla de precoat; una media filtrante puede ser de considerable valor y su uso es recomendado. Si la criba es algo desigual en porosidad ó construcción, como es el caso con acero limpio poroso, el uso de medias filtrantes de tela resultaría en la forma de un precoat uniforme y por eso, aumentará la efectividad del filtro. En cualquier caso, la media filtrante, si está hecha de un tejido satisfactorio, removerá la mayor parte de las grandes partículas en el caso de una falla

de precoat y prevendrá la penetración de la criba porosa por el material obstruyente. En casos de rotura mayor, la tela covertedora puede entonces ser reemplazada rápidamente y económicamente sin la necesidad de lavar químicamente la criba porosa. En operaciones normales, la tela covertedora puede incrementar también la efectividad del lavado de explosión de aire. La media filtrante de tela debería ser de tejido muy cerrado y debería ser resistente a enmohecerse y deterioración por agua.

B.- ESTRUCTURA DEL FILTRO.-

1- Tipo a presión.-

Como un resultado de experiencias de campos y laboratorios logradas en el uso de filtros de diatomea de tipo de presión, se han formulado un número de recomendaciones para diseño de un filtro de diatomeas a presión:

- a. Una de las consideraciones importantes en el diseño de una estructura filtrante es la entrada a la estructura. Se deberá tomar cuidado para ver que la entrada del fondo a la estructura sea de un diseño tal que pueda ser desaguada fácilmente y que la ayuda filtrante

gastada será completamente removida de la estructura durante el lavado. Para realizar esto, el fondo de la estructura debería ser cónico y debería inclinarse descendientemente para un desague libre. Una válvula de desague de abertura rápida debería ser colocada tan cerca como sea posible al fondo de la estructura. Esta válvula de desague es esencial si se usa el método de lavado de explosión de aire o de burbuja de aire o de flujo invertido. Si más cerca es el desague a la estructura, más rápida y completamente será removido el keke filtrante sucio y el agua de lavado de la estructura.

- b. Es esencial que la parte superior ó la cabeza de la estructura filtrante sea diseñada de tal manera que pueda ser removida rápida y fácilmente. La cabeza debería ser asegurada con tuercas de mariposa, ó algún otro tipo simple de asegurador para una extracción rápida. Desde el punto de vista de una operación fácil probablemente un tipo de asegurador de abrazadera sería más ventajoso,
- c. La estructura diseñada debería ser tal que las cribas puedan ser removidas de la estructura ya sea una por una ó todas a la vez. Es es-

pecialmente deseado que el diseño sea tal que la criba pueda ser removida sin la necesidad de remover la cabeza de filtro entera de la estructura. Si las cribas filtrantes son removidas mientras están conectadas a la cabeza, ellas son dañadas facilmente o rotas durante la remoción.

- d. Con el propósito de proporcionar espacio para las trampas de aire necesarias para un lavado por explosión de aire de filtros de tipo a presión, se necesitarán algunos cambios en el diseño de la estructura. Para formar la trampa de aire inferior, se deben prever algunas pulgadas en el borde superior de las cribas como puntos muertos en el interior para evitar el pasaje de agua.

Esto origina al aire a ser atrapado en la estructura contra el fondo del tubo filtrante durante el ciclo de filtración.

Una válvula disparadora de aire necesaria para operar el sistema de lavado por explosión de aire es instalado a un costado de la estructura y por encima del nivel del agua de la estructura durante el ciclo de filtración. La cabeza de la estructura filtrante debe ser diseñada para proveer suficiente espacio para

la trampa de aire superior, encima de las salida del filtro (Fig. 2).

- e. La estructura deberá tener suficientes puertas de observación montadas en el costado para permitir una observación fácil de un número máximo de cribas durante todas las operaciones filtrantes.

2- Típos al vacío.-

Desde que los filtros de tipo al vacío no son operados a presiones más grandes que las atmosféricas, no hay necesidad para la estructura filtrante a ser de tipo cerrado y de una estructura hermética.

La parte superior del filtro puede permanecer abierta durante todas las operaciones filtrantes, permitiendo la observación de todas las cribas, y proporcionando máxima accesibilidad a todos los componentes filtrantes. Hay dos formas de diseño las cuales deberían ser particularmente considerados con respecto a los filtros de tipo al vacío:

- a. La criba filtrante de forma de tubo, que separa el compartimiento de agua cruda y agua filtrada deberá ser inclinada hacia la cubeta de

pecialmente deseado que el diseño sea tal que la criba pueda ser removida sin la necesidad de remover la cabeza de filtro entera de la estructura. Si las cribas filtrantes son removidas mientras están conectadas a la cabeza, ellas son dañadas facilmente o rotas durante la remoción.

- d. Con el propósito de proporcionar espacio para las trampas de aire necesarias para un lavado por explosión de aire de filtros de tipo a presión, se necesitarán algunos cambios en el diseño de la estructura. Para formar la trampa de aire inferior, se deben prever algunas pulgadas en el borde superior de las cribas como puntos muertos en el interior para evitar el pasaje de agua.

Esto origina al aire a ser atrapado en la estructura contra el fondo del tubo filtrante durante el ciclo de filtración.

Una válvula disparadora de aire necesaria para operar el sistema de lavado por explosión de aire es instalado a un costado de la estructura y por encima del nivel del agua de la estructura durante el ciclo de filtración.

La cabeza de la estructura filtrante debe ser diseñada para proveer suficiente espacio para

la trampa de aire superior, encima de las salida del filtro (Fig. 2).

- e. La estructura deberá tener suficientes puertas de observación montadas en el costado para permitir una observación fácil de un número máximo de cribas durante todas las operaciones filtrantes.

2- Típos al vacío.-

Desde que los filtros de tipo al vacío no son operados a presiones más grandes que las atmosféricas, no hay necesidad para la estructura filtrante a ser de tipo cerrado y de una estructura hermética.

La parte superior del filtro puede permanecer abierta durante todas las operaciones filtrantes, permitiendo la observación de todas las cribas, y proporcionando máxima accesibilidad a todos los componentes filtrantes. Hay dos formas de diseño las cuales deberían ser particularmente considerados con respecto a los filtros de tipo al vacío:

- a. La criba filtrante de forma de tubo, que separa el compartimiento de agua cruda y agua filtrada deberá ser inclinada hacia la cubeta de

desagüe en el fondo de la estructura filtrante para asegurar una remoción eficiente del keke filtrante del filtro durante el lavado (figura 9)

- b. Una cámara en la entrada del agua cruda debe ser provista para prevenir la turbulencia del agua cruda a medida que ésta entra al filtro. El agua en la cámara filtrante es mantenida al nivel adecuado por inundación desde la cámara de entrada. Esta medida evita que el flujo turbulento del agua pueda romper el keke filtrante de la criba durante el ciclo de filtración. Del mismo modo con la turbulencia reducida, la ayuda filtrante es aplicada más uniformemente a la criba durante el revestimiento. Es de suma importancia que el keke filtrante posea el mismo grosor después de cada carrera filtrante, con una tolerancia promedio de ± 10 por ciento.
- c. Revestimiento primario y Lavado.-
 - 1- Revestimiento Primario (precoating)
 - a)- Recomendaciones Generales.- Revestimientos con recirculación, de la mezcla al tanque mezclador, es preferido sobre el re-

vestimiento sin recirculación de la ayuda filtrante en la estructura del filtro. Por la gran pérdida del efluente al tener que arrojarse éste al desagüe. Revestimientos con recirculación conduce a precoats más uniformes que los obtenidos sin recirculación, especialmente con cribas porosas de fina calidad ó mallas metálicas finas. Con recirculación toda ayuda filtrante de la mezcla es colectada en el filtro a medida que se reviste, reduciendo de esta manera la ayuda filtrante que se desperdicia. En las operaciones de revestimiento se debe utilizar solamente agua filtrada. Los revestimientos sin recirculación requieren menos tiempo y menos aparatos que los revestimientos con recirculación. Sin embargo, en aquellos casos donde los aparatos deben ser portátiles, ó existen limitaciones de espacio se puede utilizar un revestimiento sin recirculación. En el diseño de un filtro de tipo a presión, se debe colocar un tanque pequeño, suficiente para servir como un embudo, el que debe situarse al costado de la estructura filtrante con el propósito de aplicar la

ayuda filtrante mezclada al fondo de la estructura del filtro. En el caso de filtros de tipo al vacío la ayuda filtrante puede ser añadida a la cámara de entrada de agua cruda, con la mano.

Las pruebas han indicado que los filtros del tipo a presión deben ser revestidos al mismo promedio de flujo en que la filtración es continuada. El uso de promedios de revestimiento altos ó sustancialmente bajos producen invariablemente una formación de un revestimiento agrietado durante el ciclo de filtración.

b)- Factores que afectan la formación del precoat (20).- El precoat más uniforme que se puede obtener en cribas de filtro de diatomita tipo a presión, se realizan bajo las siguientes condiciones:

1.- Un número mínimo de aberturas se debe proveer en la criba para que el agua pueda fluír a través de ella; estas aberturas pueden situarse lo mas cerca posible al fondo de las cribas.

También las cribas porosas de mayor grosor son generalmente revestidas más uniformemente.

2.- Usando el promedio mínimo de flujo requerido para levantar la ayuda filtrante en la estructura. El promedio mínimo de flujo requerido para revestir una criba con ayuda filtrante tipo celite 535, es de 670 metros cúbicos por metro cuadrado y por día. El promedio mínimo de flujo necesitado para asegurar un revestimiento completo con cualquiera de las ayudas filtrantes de diatomea, es alrededor de 720 metros cúbicos por día y por metro cuadrado de área filtrante.

3.- Usando un pequeño desviador sobre el fondo de la criba para desviar la mezcla entrante fuera de la criba. Si el desviador no es usado, la turbulencia de la mezcla lleva la ayuda filtrante a la parte del fondo de la criba, y el precoat resultante es más pesado en la parte superior que en el fondo.

2- Lavado (20)

a)- Recomendaciones Generales.-

1.- Un lavado combinado de explosión de aire y burbujas de aire es uno de los métodos más eficientes de lavado, siendo lo más adecuado para usarse con filtros de diatomea.

2.- En general, un lavado a explosión de aire es más eficiente que el lavado por burbujas de aire o el de inversión de flujo usado solo.

3.- El lavado por inversión de flujo de agua es preferido sobre un lavado de burbuja de aire usado sólo.

4.- Cualquier método de lavado ó cualquier variación adoptada, debe ser fácil de operar, , y ser seguro, esto es asegurar que ninguna agua no filtrada pase al del lado del efluente de los filtros. También el circuito de lavado no debe permitir que el agua no clorinada pase através de las bombas y de las tuberías no contaminadas.

5.- Generalmente ningún tipo de lavado es suficientemente efectivo para limpiar la

criba, sin el uso de algunos limpiadores manuales ó ácidos.

b)- Lavado por explosión de aire (20)

1.- El lavado por explosión de aire es más efectivo cuando el volúmen de aire almacenado en las partes superior e inferior son apoximadamente iguales.

2.- El volumen de aire en las trampas para un lavado de explosión de aire no debe ser menos que 1.8cm^3 por centímetro cuadrado de superficie filtrante. Sin embargo, un volúmen de aire de 1.1 centímetros cúbicos por centímetro cuadrado suministrará probablemente un lavado superior al lavado por inversión de flujo de agua usando un promedio de alrededor del doble del promedio de filtración diseñado.

3.- La válvula de explulsión de aire en la trampa de aire más baja debe ser de abertura rápida (figura 5) y debe ser suficientemente grande para permitir una expulsión instantánea de aire desde la trampa más baja.. Una válvula de media pulgada ó más grande sería probablemente el tamaño más efectivo.

4.- Para lavados más efectivos de elementos de cinta ó malla metálica, el centro de la criba debe tener un número máximo de aberturas uniformemente distribuídas en la superficie de la criba.

5.- Las cribas de metal poroso de poros finos muestran las mejores características de lavado con lavado por explosión de aire.

6.- La presión del aire comprimido en la trampa de aire al comienzo del ciclo de lavado, debe ser al menos de 1.8 kilogramos por centímetro cuadrado y preferiblemente 2.5 kilogramos por centímetro cuadrado.

c)- Lavado por burbuja de aire (20)

1.- La tubería de drenaje en el método de lavado por burbujas de aire debe ser por lo menos 1½ pulgada de diámetro y debe estar situada al fondo de la estructura filtrante. El desagüe debe ser recto con el propósito de proveer el camino más directo al desagüe para el keke de ayuda filtrante y agua de lavado.

2.- Una válvula de globo debe ser usada en la línea de desagüe del método por burbuja de aire, ya que se pueden obtener ajustes más precisos.

VII DETERMINACIONES A CONSIDERARSE
EN EL DISEÑO DE LA INSTALACION
DEL FILTRO.

A.- PRINCIPIOS GENERALES.-

1- Precloración.

En operaciones de filtros de diatomea el agua no filtrada, contaminada, es separada del agua filtrada al comienzo de la carrera del filtro por una capa de revestimiento de aproximadamente 32 milímetros de grosor. Para asegurar que ningún peligro para la salud será creado, en el caso de que en la delgada capa de revestimiento se produzcan roturas o diferentes fallas, el agua cruda debe ser siempre preclorada. En cualquier tipo de operación de filtración, la precloración es usada normalmente para proveer suficiente cloro a fin de mantener un cloro residual de 0.1 a 0.5 ppm. en el agua cruda. El cloro deberá ser puesto en el agua cruda en un punto y a un tiempo determinado, en el cual se asegurará que el cloro está en contacto con el agua cruda durante su período de flujo através de todos los componentes del filtro. En filtros de diatomea el cloro es introducido en la bom

ba de succión, tan pronto como la filtración del agua cruda comience. Los filtros de diatomita son capaces de remover del agua cruda, microorganismos patógenos resistentes al cloro tales como los quistes de la *Entamoeba histolytica*, así también en organismos no resistentes al cloro. Existen crias que son por si mismas capaces de remover estos organismos. En casos donde existan organismos patógenos en el agua cruda, se utilizan este tipo de crias como un factor de seguridad adicional en la prevención de contaminación del agua filtrada. Sin embargo, es muy razonable el asumir que si el agua ha sido preclorada, y si se utiliza una criba la cual tenga la ventaja de retener los organismos resistentes al cloro, los filtros de diatomita son capaces de entregar agua pura bajo cualesquiera de las condiciones de campo normalmente esperadas. El diseño de los filtros de diatomita debe ser tal, que se obtenga una purificación completa solamente por filtración. La precloración es añadida para proveer un factor adicional de seguridad en la filtración de abastecimientos de agua municipales.

2- Interrupciones de la Filtración.

Con el propósito de permitir la operación a un promedio constante, los filtros de diatoma deben ser operados en un sistema el cual provea a un almacenamiento subterráneo o elevado. Invariablemente la filtración tendrá que ser interrumpida y reanudada a medida que el suministro requiera ya sea el vaciado o llenado del volumen de almacenamiento. La provisión debe ser hecha de modo que durante los períodos de interrupción el revestimiento de las cribas permanezcan en su posición después que la presión diferencial ha sido suprimida. Esto puede ser realizado por el uso de una bomba sostenida del tipo usado para la circulación del agua en un sistema de agua caliente (figura 3.7). La bomba debe ser del tipo de impulsor abierto el cual entregará un gran volumen de agua con una carga muy baja. La bomba puede ser conectada en cruz con la bomba de servicio principal de manera que arranque cuando la bomba principal sea parada. El aparato inyector del revestimiento secundario debe también ser parado automáticamente cuando la bomba principal se interrumpa. La bomba

pequeña mantendrá suficiente flujo através de los kekes de baja resistencia o suficiente presión contra los kekes de alta resistencia para sostenerlas en su lugar sobre las cribas, hasta que el filtro comience nuevamente. Cuando la filtración se reanude, la bomba de recirculación debe interrumpir automáticamente. Esta provisión permitirá operaciones continuas o intermitentes en un promedio de flujo constante hasta que la pérdida de carga através de los filtros alcance el máximo aprovechable.

Bajo ninguna circunstancia las interrupciones en el flujo continuo deben permitirse, a menos que se hagan provisiones de retención del revestimiento sobre las cribas.

Si esto fuera a ocurrir, los elementos estarán sin protección por el revestimiento filtrante y las sólidos pasarán através ó serán depositados encima y dentro de las cribas. Si la filtración fuera reanudada, alguna parte de la ayuda filtrante y la materia suspendida serán introducidas dentro del sistema de distribución junto con cualquier organismo biológico presentes dentro del filtro.

Aunque la ayuda filtrante podría formar de nuevo un revestimiento en la criba, la probabilidad de la formación de un precoat incompleto e inefectivo es grande. Por lo tanto, bajo ninguna circunstancia, el permitir que el revestimiento se desprenda y se vuelva a levantar no debe ser tomado como práctica normal en operaciones de filtración para agua municipal.

Cuando se usan cribas de láminas horizontales, las interrupciones en el ciclo filtrante no pueden dejar caer el keke filtrante como es el caso con las cribas de tipo cilíndrico (ver Secc II c.1).

Sin embargo, cuando la presión através de una criba cilíndrica horizontal decrece a cero, el keke filtrante puede tender a expandirse y a producir grietas através de la estructura del filtro. También hay una posibilidad que cuando la presión diferencial sea interrumpida, el efecto de expansión del agua en la estructura tenderá a levantar el keke fuera de las superficies de las cribas de láminas horizontales. Debido a estas posibilidades, es recomendable que se instale una bom

ba colgante para mantener una presión diferencial pequeña através de las cribas filtrantes ya sea que ellas estén dispuestas vertical ú horizontalmente.

3- Control de promedio.-

Con el propósito de hacer funcionar un filtro de diatomita en un verdadero ciclo de promedio de flujo constante, el promedio de flujo através del filtro debe ser aumentado continuamente a medida que el keke filtrante se forma sobre las cribas (Secc. V; A).

Esto puede ser efectivado solamente por la instalación de una válvula automática de control de promedio de flujo en el sistema, (ver fig. 2). Sin embargo, un promedio constante de flujo puede ser alcanzado ajustando periodicamente, a medida que la resistencia del keke filtrante aumenta, una válvula manual de control de promedio de flujo en la línea del efluente del filtro. Si la cantidad de sólidos suspendidos es tan pequeña que el promedio de flujo necesita ser ajustado solamente a cierto tiempo a medida que el operador hace una de tención periódica normal en la operación filtran

te, el controlador manual de promedio puede probar ser más económico que un tipo automático. Sin embargo, si la turbiedad del agua cruda es alta, ó si ésta varía inesperadamente, esto es requiriendo la atención constante de un operador, un controlador automático de promedio de flujo sería más práctico así como más económico, que un tipo ajustado manualmente. Por sobre toda confianza y economía, es recomendado que una válvula automática de control de promedio de flujo sea usada en operaciones de filtración de agua en abastecimientos municipales. El controlador de tipo manual sería probablemente más satisfactorio para la mayor parte de las operaciones de filtración de piscinas.

4- Lavado con agua filtrada.-

Se emplea el método de inversión de flujo para el lavado, ya sea sólo ó en combinación con algún otro método (Secc. II C 3 y VI C 2). Se debe utilizar agua filtrada con el propósito de evitar la contaminación del compartimiento de agua filtrada y el interior de las cribas con agua no filtrada. El tanque de reserva, el cual contiene el agua para el precoat, puede

ser usado también como una fuente de agua filtrada para el lavado. Las válvulas y tuberías necesarias deben ser provistas, para desviar el agua filtrada de lavado del lado de presión de la bomba filtrante principal., a la línea del efluente del filtro como se muestra en la figura 5.

5- Válvulas.-

Las válvulas que controlan el flujo del cuerpo alimentador ó el de la ayuda filtrante para el revestimiento primario, están sujetas a la acción abrasiva de las partículas de ayuda filtrante. Las válvulas de globo son manufacturados con una tolerancia ajustada y están engrasadas para evitar pérdidas de agua.

La naturaleza abrasiva de las partículas de ayuda filtrante originan rápidamente la eliminación de la grasa y desgastes de las superficies de metal en las válvulas de globo. Por ésta razón, las válvulas de globo no deben ser usadas para controlar flujos de agua que contengan ayuda filtrante en suspensión . Las válvulas de compuerta son menos afectadas por la raspadura de las partículas de diatomita y

son recomendadas para ser usadas en las tuberías que llevan la ayuda filtrante para los revestimientos primarios y secundarios. Si las válvulas de compuerta que controlan el flujo de ayuda filtrante suspendida son instaladas verticalmente, algo de la ayuda filtrante puede ser depositada sobre los asientos de la válvula, afectando la operación propia de la misma. Para prevenir ésto es recomendado que dichas válvulas sean instaladas en posición horizontal a las tuberías.

La válvula de desagüe en el fondo de la estructura filtrante debe ser del tipo de abertura rápida para permitir la rápida descarga del keke filtrante usado del fondo de la estructura durante el lavado (fig. 5 y 9).

Es especialmente esencial que la válvula de explosión de aire provista para el lavado por explosión de aire sea de abertura rápida y suficientemente grande para proporcionar expulsiones instantáneas de aire desde la trampa de aire más baja.

Una válvula de aguja o esférica debe ser usada para controlar el promedio de flujo de agua dentro del tanque de body feed. Este ti-

po es recomendado debido a que son posibles los finos ajustes del promedio de flujo.

Las válvulas de compuerta pueden ser usadas para todos los otros puntos de control de flujo en el sistema.

B.- EQUIPO DE REVESTIMIENTO SECUNDARIO (Body Feed)

1.- Generalidades.-

El body feed puede ser usado para aumentar la producción de agua por peso de ayuda filtrante usada, siempre y cuando el body feed sea mantenido en correcta proporción a la cantidad y al carácter de los sólidos suspendidos en el agua. En vista de esto y en vista del hecho que la filtración de promedio constante es recomendado (Secc. V A.), el aparato de body feed debe ser capaz también de mantener la ayuda filtrante del body feed a un promedio de constante para una calidad dada de agua cruda.

2.- Cuerpo Alimentador (Body Feeder)

El cuerpo alimentador debe consistir de algún artefacto para alimentar una cantidad conocida de mezcla, de ayuda filtrante de concen-

tración conocida dentro de la tubería de descarga de la bomba filtrante principal continuamente a lo largo del ciclo filtrante. Es preferible que la ayuda filtrante no deba pasar a través de ninguna bomba. La cantidad de body feed usada depende de la cantidad y del carácter de los sólidos suspendidos en el agua cruda. Por lo tanto, el body feeder debe ser capaz de añadir, un amplio margen de cantidad de ayuda filtrante correctamente controlada al agua cruda, a medida que la calidad del agua y la naturaleza de las partículas suspendidas varíen.

Existen dos tipos diferentes de body feeders en uso corriente, un alimentador químico en seco y una bomba inyectora, tipo aspirante impelente. Ambas están descritas con detalle en la Secc. II, C.5. Los body feeder deben ser regulados de algún modo según sea la conveniencia del operador del filtro. Se recomienda que los alimentadores sean regulados de modo tal que se puedan hacer ajustes determinados como por ejemplo desde 1 a 100, corresponda a cantidades añadidas de ayudas filtrantes expresadas como Kgs. de ayuda filtrante

por períodos de 24 horas.

Se deben prover tarjetas de calibración las cuales darán esta información para varios tipos de ayuda filtrante comunmente usados en el caso de un alimentador seco. En el caso de usar una bomba inyectora tipo aspirante impe-
lente, la tarjeta de calibración debe indicar los kilogramos de ayuda filtrante que están siendo añadidos dentro del agua cruda para ca
da ajuste determinado con varias mezclas de di-
ferentes concentraciones.

El alimentador seco es el tipo recomenda-
do para instalaciones con filtros del tipo al-
vacío. El alimentador debe ser montado sobre
la cámara de entrada del agua cruda, y debe
dejar caer la ayuda filtrante directamente den-
tro de la cámara de entrada. Cualquiera, el
alimentador seco ó la bomba inyectora pueden ser
usados en la instalación filtrante de tipo a
presión. Si es usado el alimentador seco,
un eyector será necesario utilizar para trans
ferir la mezcla desde el tanque mezclador del
body feed dentro de la tubería del agua cruda
(figura 2).

Para operaciones de filtración de aguas

municipales, el alimentador seco es recomendado sobre la bomba de proporción por las siguientes razones:

1- Las partes móviles del alimentador seco no son afectadas por la acción abrasiva de la ayuda filtrante tanto como lo son aquellas de la bomba inyectora. Consecuentemente, el alimentador seco puede ser esperado a hacer un trabajo seguro de dosificación por un período de tiempo más largo.

2- Un rango más amplio de promedios de aplicación de ayuda filtrante es posible con el alimentador seco que con la bomba inyectora.

3- El alimentador seco es especialmente adaptado para alimentación de flujo continuo (ver figura 2) durante el cual la concentración de la ayuda filtrante pueda ser cambiada con las variaciones en la calidad del agua cruda.

3.- Tanque de Body Feed.-

El tamaño del tanque de body feed depende si es que la operación de la ayuda filtrante es del tipo permanente ó del tipo de flujo continuo. Si está siendo usado una operación de tipo permanente el tanque de mezcla debe ser lo suficientemente grande como para mantener

una provisión de agua filtrante para 12 a 24 horas a un promedio de flujo máximo del filtro particular usado. Un tanque más pequeño puede ser usado cuando el tamaño de la planta requiera la atención de un operador por lo menos dos veces al día. Un tanque de mezcla más grande es recomendado, cuando solo una atención diaria al filtro es anticipada. Los filtros militares portátiles ó los filtros de emergencia son usados ordinariamente con supervisión continua, por lo tanto, los tanques suficientemente grandes para mantener un abastecimiento de dos a cuatro horas de ayuda filtrante por alimentación constante es satisfactorio.

En la operación de tipo A filtración de flujo continuo, la ayuda filtrante del cuerpo alimentador de alimentación seca y el agua filtrada de un punto de la tubería, son alimentadas a un promedio constante, dentro del tanque de body feed donde ellos son mezclados. El promedio de ayuda filtrante de body feed es controlado fácilmente, ajustando el alimentador seco. El promedio de flujo de agua requerido para diluir el cuerpo alimentador suficiente para permitir el flujo de la mezcla por el eyector es controlada por una válvula de aguja y

por un indicador tipo rotámetro de promedio de flujo. Cuando la filtración es interrumpida, el motor del alimentador seco y la bomba eyectora son interrumpidas automáticamente por una válvula de control flotante en la entrada del tanque. El tanque necesita ser suficientemente grande solamente para permitir una producción de una mezcla uniforme antes que ésta sea alimentada al eyector. Un tanque de body feed de capacidad de nomás de 200 a 300 litros es suficiente generalmente para operaciones de flujo continuo.

Los tanques mezcladores usados, ya sea en los métodos de operación antedichos deben ser equipados con un mezclador auxiliar lento o un artefacto de movimiento para mantener la ayuda filtrante en suspensión en el tanque durante el ciclo de filtración.

4.- Cantidad de Body Feed.-

Generalmente, la cantidad de ayuda filtrante usada debe aumentar directamente con un aumento en la turbiedad del agua cruda. Aunque la turbiedad sola no es un buen indicio de la cantidad exacta de body feed la

cual debería ser usada para operaciones filtrantes más económicas; ésta es usada comúnmente como una regla general para las determinaciones de cantidades apropiadas. Usualmente la cantidad de cuerpo alimentador usada no es menos de 2 a 3 ppm. de body feed por ppm. de turbiedad (14). Otro método de asegurar el uso apropiado de cuerpo alimentador es usar cantidades suficientes para permitir una operación filtrante en línea recta teniendo en las coordenadas a la pérdida de carga y al volúmen de agua filtrada (curva número 4, figura 21).

Desde que la turbiedad del agua cruda es un factor determinante de la cantidad de ayuda filtrante a usar, el equipo de cuerpo alimentador debe tener suficiente capacidad para proveer una ayuda filtrante confiable para el más amplio margen de condiciones de turbiedad esperados.

El uso eficiente y económico del cuerpo alimentador puede ser determinado solamente llevando a cabo pruebas de campo con el filtro, bajo todas las condiciones filtrantes anticipadas.

C.- DISPOSICION DE LAS TUBERIAS Y DEL EQUIPO.-

La disposición del equipo y arreglo de las tuberías deben ser diseñados para permitir un máximo grado de acceso para todos los componentes y accesorios que requieran atención ó ajustes, durante todas las operaciones filtrantes. Todas las válvulas deben ser instaladas a un nivel donde sean alcanzadas facilmente, y las válvulas que requieran ajustes al mismo tiempo que desvían el flujo del agua de una sección de la instalación a otra, deben ser agrupadas juntas. La válvula de control de promedio de flujo debe ser de un fácil alcance, y los indicadores del promedio de flujo así como también los manómetros deben colocarse a la altura de la vista, y en una posición que permita su fácil lectura. El recipiente de precoat, el alimentador seco, y el tanque mezclador del alimentador seco deben estar situados en un lugar donde se realice el manipuleo de la ayuda filtrante. Componentes los cuales requieren atención poco frecuentes tales como la bomba filtrante y el reservorio de almacenamiento de agua filtrada deben estar situados fuera de el area de operación. Debe haber suficiente espacio techado sobre la tuberias y los otros componentes situados más arriba. Todos los circui-

tos de la tubería deben ser de un color clave para indicar sus funciones particulares durante las operaciones filtrantes. Suficiente espacio debe ser provisto alrededor de la estructura filtrante para permitir el fácil desmantelamiento de las diferentes secciones de los filtros cuando sea necesario. Una grúa aérea sobre la estructura filtrante es necesaria para ayudar en el desmantelamiento para reparar o reemplazar las cribas filtrantes.

Como lo que se está procesando en la planta es agua potable, el interior completo de la planta y alrededores deben ser diseñadas para presentar una apariencia limpia, agradable y sanitaria.

D.- MANIPULEO DE LA AYUDA FILTRANTE.-

Las ayudas filtrantes usadas en filtros de diatomita deben ser manipuladas en un cuarto separado del resto de la instalación filtrante debido al problema del polvo, causado por la descarga de la ayuda filtrante desde los sacos, pesando y descargando dentro del recipiente de precoat y el alimentador en seco. La instalación debe ser diseñada de modo que el recipiente de precoat

al cuerpo alimentador y el tanque mezclador del alimentador seco estén situados en el cuarto de manipuleo de la ayuda filtrante. El cuarto debe ser bien ventilado, y un fuelle extractor debe ser instalado para usarse cuando la ayuda filtrante está siendo manipulada.

Con el propósito de prevenir la pérdida de la ayuda filtrante a un mínimo, un gran embudo de lona o de plástico con un asegurador corregido debe ser usado cuando se añada ayuda filtrante al recipiente de precoat o al dry feeder. El saco de la ayuda filtrante debe colocarse dentro del embudo de tejido, el ajustador corregido en el embudo está cerrado, y la ayuda filtrante puede ser vertida dentro del recipiente de precoat o del alimentador, sin causar excesivo polvo en el cuarto. Una cubierta con una vasija para recibir el final del embudo dosador, debe ser diseñado para usarse mientras se llena el recipiente de precoat y del alimentador. Los tanques mezcladores deben estar cubiertos. Como una precaución la rotura de las partículas de diatomea por compresión, los sacos de la ayuda filtrante no deben ser amontonados en más de seis sacos, cuando están en el almacén.

E.- PROMEDIOS DE FLUJO Y CAIDAS DE PRESION.-

Desde que los promedios de flujo y las caídas de presión que ocurren en los filtros de diatomita dependen de diversas variables de diferente naturaleza (cantidad y naturaleza de impurezas en el agua cruda, cantidad de ayuda filtrante usada, área de filtración aprovechable) es imposible recomendar un promedio de flujo y la pérdida de carga final a ser usados para un filtro de diatomita sin una conducción de pruebas de campo. Las características de operación de un filtro de diatomita pueden ser determinadas solamente conduciendo pruebas de campo en un filtro particular para el campo y tipo de turbiedad anticipada durante los períodos normales de operación.

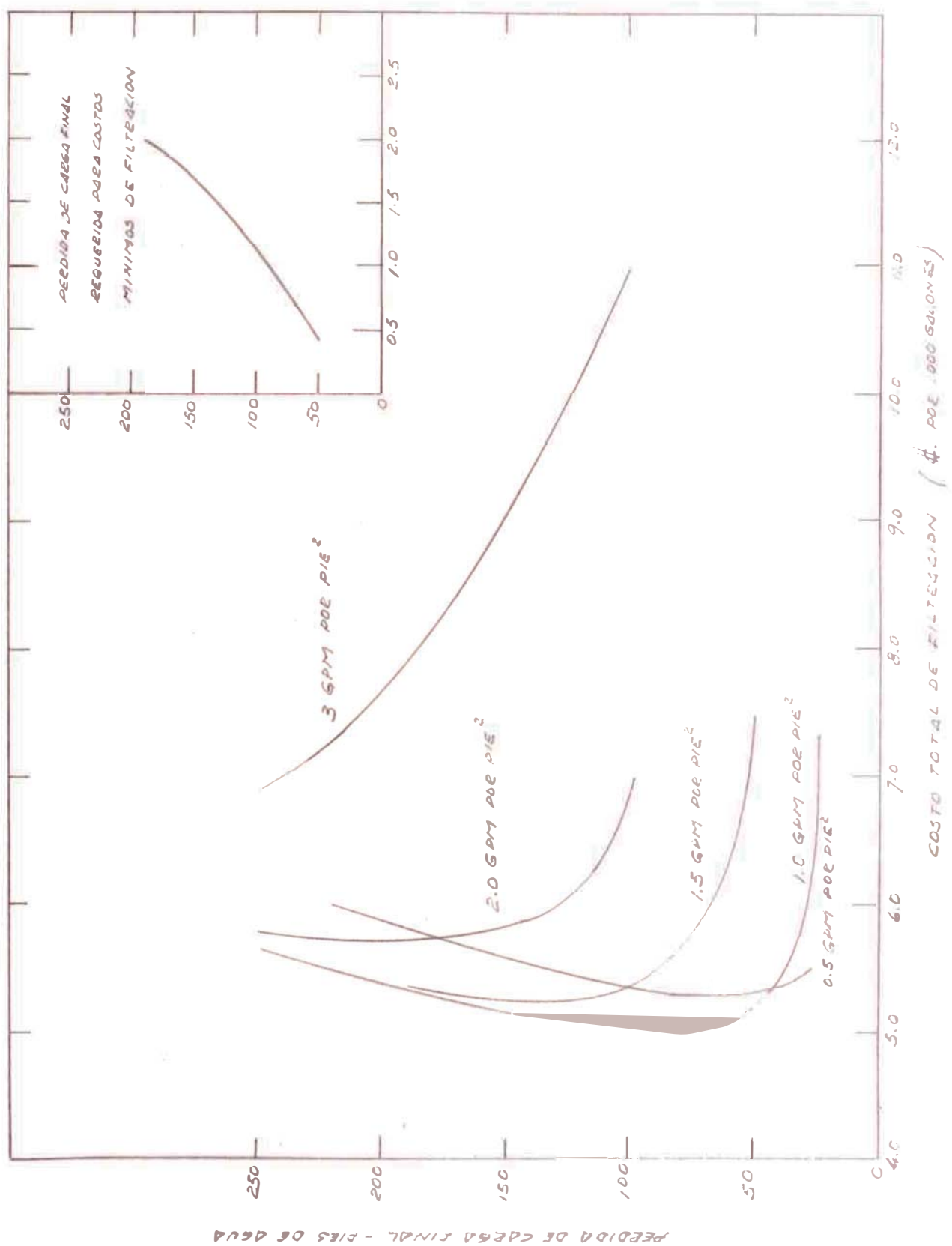
Bauman y Babbitt (15) calcularon los costos totales para una instalación de un filtro de diatomita para una población hipotética de 4,000 habitantes los que incluían pruebas de campo. El estudio indicó que, en el caso de la calidad particular de agua asumida la filtración más económica sería obtenida si los filtros fueran operados a un promedio de flujo de 60 metros cúbicos por día y por metro cuadrado de superficie filtrante para una caída de presión final de 27 mts.

de agua (figura 23). La figura 23 también muestra, qué para mantener los costos de operación a un mínimo, hay un cierto valor de pérdida de carga final asociada con cada valor del promedio de flujo.

La extensión a la cual una variación en la característica de un filtro afecta la economía de las operaciones de filtración puede ser ilustrada como sigue: Si el promedio de la filtración fuera reducida, permaneciendo la pérdida de carga final constante, el volúmen de líquido filtrado obtenido por carrera del filtro y la longitud de la carrera del filtro aumentarían; reduciendo el promedio de filtración en la mitad con un body feed apropiado aumentaría la longitud del recorrido en cuatro veces. Esto proveería costos de trabajo reducidos a causa de la atención menos frecuente, requerida por los filtros para carreras más largas. Sin embargo, al mismo tiempo, el volúmen de agua filtrada por unidad de tiempo con el mismo equipo decrecería. En este caso sería necesario aumentar el área filtrante con el propósito de mantener la producción total original diaria del filtro, de este modo se aumentan los costos fijos de la planta. Debe decidirse entonces si los costos fijos aumentados serían ma-

Figura 23.

Costos teóricos de filtración
de agua a través de un filtro
de diatomeas con diferentes
promedios de flujo y pérdidas
de cargas terminales.



yores ó menores que los ahorrados en trabajo sobre un cierto período de tiempo. Durante las pruebas de campo para los diseños, se deben hacer estudios adicionales, variando la pérdida de carga final, ó variando ambos el promedio de flujo y la pérdida de carga final, y notando el efecto sobre toda la economía de la instalación.

Un estudio de varias plantas de aguas municipales que utilizan filtros de diatomeas ha sido hecho en los Estados Unidos de Norteamérica (14). El estudio mostró que en la planta promedio, un promedio de filtración de 60 a 180 metros cúbicos por día y por metro cuadrado de area filtrante era lo más común y que los ciclos de filtración fueron terminados con una pérdida de carga a través del filtro de 8 a 27 metros de agua, siendo el valor más común alrededor de 18 metros. Bauman (14) indica que estos resultados fueron obtenidos de plantas, en las cuales el cuerpo alimentador no fué usado en forma correcta. Sin embargo, con toda probabilidad, el promedio de flujo usual en una planta municipal, usando el cuerpo alimentador en forma correcta, variará de 50 a 120 metros cúbicos por metro cuadrado y por día con una pérdida de carga final de 15 a 45 metros.

VIII PRUEBAS DE CAMPO REQUERIDAS PARA
DISEÑOS ECONOMICOS.

A.- GENERALIDADES.-

Las características de operación de un filtro de diatomita están determinadas por el diseño inicial del filtro y las técnicas de operación subsiguientes empleadas. Los puntos más importantes a ser considerados en el diseño inicial de un filtro son: longitud de la carrera del filtro, promedio de filtración, pérdida de carga final, requerimientos de body feed, tipo de ayuda filtrante a ser usada, y la calidad anticipada del agua a ser filtrada. La longitud de la carrera del filtro está sujeta realmente a todos los otros factores y cualquier variación de ellos, afectará la longitud de la carrera del ciclo de filtración.

1- COSTOS FIJOS.-

Los costos fijos están subordinados al promedio de flujo y a la pérdida de carga final a ser usada en las operaciones de los filtros. A medida que el promedio del flujo diseñado es aumentado, la capacidad de producción total de la planta por unidad de costo de equipo, aumentará y los costos fijos de-

crecerán. Sin embargo, antes que el diseño inicial pueda ser completado, las condiciones más económicas de promedio de flujo y de caída de presión final deben ser determinadas, de modo que los costos de operación futuros puedan ser mantenidos a un mínimo. Esto significa que el tamaño de la planta y de los costos fijos no pueden ser determinados, a menos que pruebas de campo con un plan guía sean ejecutadas con el agua a ser filtrada, para determinar la combinación más económica de promedio de flujo, pérdida de carga final y grado de ayuda filtrante.

2- COSTOS DE OPERACION.-

Los costos de operación pueden ser colocados dentro de los siguientes cinco artículos:

a)- Mano de Obra: Los costos de mano de obra varían inversamente según la longitud de la carrera del filtro. La mayor parte de las plantas municipales que usan filtros de diatomita probablemente no serán suficientemente grandes para requerir un operador de la planta todo el tiempo. En este caso es usual utilizar los servicios de otro empleado municipal para trabajar la planta de filtración sobre una base de trabajo por hora. Si la planta es diseñada para permitir carreras filtrantes de 24 á 48 horas, el operador pue

de comenzar un nuevo ciclo de filtración como una parte de su rutina diaria del chequeo de la planta. Si los recorridos filtrantes son más cortos de 24 horas, será necesario que el operador visite la planta con más frecuencia y los costos de trabajo diario, serán más altos. La longitud de las carreras filtrantes, y, consecuentemente, los costos de trabajo pueden ser controlados durante las operaciones de la planta por el uso efectivo de la ayuda filtrante en un revestimiento secundario.

En general, carreras de filtración de menos de 24 horas pueden ser considerados inaceptables para pequeñas instalaciones municipales.

b)- Energía: Los costos de energía están subordinados directamente al promedio de flujo y a la pérdida de carga final para lo cual está diseñada la planta. Una vez que la planta ha sido diseñada, las demandas de energía son fijas para todos los propósitos prácticos, y ninguna mejora en las economías de operación puede ser obtenida reduciendo el consumo de energía. La potencia requerida debe ser investigada previamente al diseño inicial de la planta para proveer las combinaciones más económicas de promedios de filtración y caída de presión final.

c)- Ayuda Filtrante: El costo de la ayuda filtrante es probablemente segundo en importancia en comparación al costo de mano de obra en consideraciones económicas de operaciones filtrantes. La cantidad de ayuda filtrante requerida para una aplicación particular de filtros de diatomita debe ser establecida durante las pruebas de campo anteriores al diseño inicial del filtro. Las demandas de la ayuda filtrante son particularmente importantes en la consideración de costos de operación porque la aplicación del body feed puede ser variada con la variación de las características del agua cruda. Esto provee una máxima economía de operación manteniendo las carreras filtrantes a una longitud deseada sobre amplios campos de variación en las características del agua.

d)- Cloro: La cantidad de cloro usada en precloración y después de la cloración está relacionada directamente al flujo total a través de la planta y no está subordinada al promedio de filtración. Para todo propósito práctico, el costo de la cloración puede ser supuesto constante y variará solamente con la calidad del agua cruda.

e)- Mantenimiento: Los costos anuales de mantenimiento son difíciles de predecir, y los factores de

diseño inherentes a la instalación de los filtros probablemente no tienen conexión directa con los costos de mantenimiento. Probablemente la mejor indicación de costos de mantenimiento futuros para una planta particular, será encontrado en registros de operaciones de plantas llevadas por un largo período de tiempo. Estos registros no son aún posibles para operaciones de filtración en plantas municipales.

Generalmente, si se considera agua de una turbiedad particular, ó si se diseña para una calidad de agua conocida o asumida, existen tres maneras de aumentar la longitud de la carrera filtrante:

- (1) Aumentar la cantidad de body feed usada. Esto puede ser hecho en cualquier momento después que el filtro ha sido puesto en operación.
- (2) Aumentar la presión final en la cual se realiza la filtración. Esto está considerado en el diseño inicial y no puede ser variado a ningún grado práctico durante las operaciones filtrantes después que la planta ha sido construída.
- (3) Bajar el promedio de filtración. El promedio de filtración es establecido en el diseño inicial del filtro y no puede ser variado a ningún grado práctico durante las operaciones filtrantes.

El más bajo sobrecosto de filtración puede ser realizado solamente por un buen diseño inicial seguido por una operación de planta apropiada después de la construcción.

B.- DETERMINACION DE LA CALIDAD DEL AGUA.-

En el diseño de una planta filtrante de diatomita para un suministro de agua municipal, la primera consideración debería ser la determinación de las características del agua cruda la cual fijará el diseño de la planta. Las características del agua cruda son de primordial importancia porque ellos determinan:

1- La calidad de diatomita a ser usada para obtener la deseada calidad de agua filtrada.

2- La cantidad de body feed, el promedio de filtración, y la caída de presión del keke filtrante, requeridas para proveer carreras de suficiente longitud para obtener operaciones económicas.

El primer paso en la determinación de la calidad del agua debe ser el de analizar las variaciones en la calidad del agua, las cuales han ocurrido por un largo período de tiempo. En ciertas épocas del año la turbiedad del agua puede ser extremadamen

te alta para un corto período de tiempo. Sería impráctico diseñar el filtro sobre la base de una calidad de agua encontrada solamente una o dos veces en un año.

Así por ejemplo según registros obtenidos de la línea de tuberías de agua de Midland - Saginaw en Illinois, U.S.A., la turbiedad igualó o excedió 8 ppm. en solamente 30 días durante un período de 23 meses. La turbiedad máxima registrada durante este período fué 27 ppm. (5). Una planta diseñada para filtrar agua de esta tubería no sería diseñada sobre la base de 27 ppm. de turbiedad, desde que la capacidad máxima de la planta sería usada durante solo 15 días de un año. El diseño de la planta sería basado probablemente en una turbiedad más cerca a 8 ppm.

Las pruebas de campo deben entonces ser conducidas para determinar la calidad bacteriológica y las características filtrantes del suministro de agua cruda en las cuales va a ser basado el diseño del filtro. El agua debe ser filtrada primero, por un filtro experimental en una serie de pruebas filtrantes en las cuales la única variable es el tipo de ayuda filtrante de calidad satisfactoria.

El procedimiento recomendado es comenzar con los tipos más gruesos de ayuda filtrante y usar progresivamente calidades más finas en pruebas sucesivas, hasta que sea encontrada una ayuda filtrante la cual producirá en forma regular la calidad de agua filtrada deseada.

Registros de operación con filtros de diatomi- ta son obtenibles de 5 plantas de filtración de agua usando la misma tubería. Ellos reportaron carreras filtrantes de una duración mostrada en la Table 2.

Es obvio que las plantas de filtración en la tabla 2 no fueron diseñadas sobre la misma base, aun que el agua filtrada en cada caso fué la misma. La planta en Aus Gres, la cual no usó body feed, probablemente tuvo demasiada capacidad para una operación económica. De otro lado, la planta de Saginaw Township, tuvo capacidad insuficiente para proveer carreras.

TABLA 2- Comparación de longitudes de carreras filtrantes reportados por cinco plantas municipales de filtración de agua, usando agua de la tubería de Midland-Saginaw.

| Ciudad. | <u>Longitud de Carrera Filtrante</u> | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------|---------|
| | Mínimo | Normal | Máximo |
| Aus Gres, Michigan | 6 horas | 7 días | 30 días |
| Linwood, Michigan | -- | 16 días | -- |
| Saginaw Township, Michigan | 10 minuts. | 1/2-1 día | 2 días |
| Baugra Monitor Township, Mich. | 1 día | 1 día ^b | 2 días |
| Kaw Kawlin, Mich. | -- | -- | 22 días |

L Dato de (5)

a Usó 13 ciclos filtrantes en 1 día.

b Lavados diarios con 10 - 12 psi. de pérdida de carga. normales de más de un día.

Para la seguridad de la regularidad, se recomienda que el diseño de un filtro para un suministro de agua municipal sea basado en una turbiedad la cual sea igualada ó excedida aproximadamente en un 10 por ciento del tiempo. Sería mas económico hacer esto y aceptar

tar carreras más cortas durante cortos períodos de turbiedad raramente altos. Registros diarios de turbiedad durante un período de lo menos un año, y preferiblemente más largos, son necesarios para la determinación del diseño de la calidad del agua. Si los registros de turbiedad no se pueden determinar para el origen del agua, se recomienda que el filtro sea diseñado para operar a un promedio de flujo de 60 metros cubicos por día y por metro cuadrado de area filtrante para una pérdida de carga final de 30 metros de agua. El body feed debe entonces ser usado en cantidades suficientemente grandes para mantener una relación de línea recta entre la pérdida de carga y el promedio del flujo.

C.- DISEÑO INICIAL DE LA PLANTA.-

En el diseño de los filtros de diatomita para uso municipal, deben ser determinados el promedio de flujo más económico y la pérdida de carga final a ser permitida en el filtro.

Los estudios de filtración los cuales son llevados a cabo para determinar las economías de estas cantidades deben estar basadas en los promedios de flujo requeridos para las condiciones de días promedio.

La experiencia ha demostrado que los filtros de diatomita no deben ser normalmente operados a promedios de flujo menos de 30 metros cúbicos por día y por metro cuadrado de filtro o encima de 180 metros cúbicos por día y por metro cuadrado de filtro (9). Con el propósito de determinar el promedio de flujo más económico y pérdida de carga final para usarse en el diseño del filtro, las pruebas de filtración deben ser hechas a promedios de flujo de 30, 60, 120 y 180 metros cúbicos por día y por metro cuadrado de area filtrante para permitir la evaluación de las longitudes de las carreras obtenidas con pérdidas de carga final de alrededor de 8, 15, 30 y 50 metros de agua. Estos recorridos deben ser hechos con suficiente body feed para proporcionar una relación aproximadamente en línea recta entre la pérdida de carga y el tiempo (ó volumen de líquido filtrado).

El siguiente ejemplo ilustra un procedimiento el cual puede ser usado para diseñar un filtro de diatomita según los resultados de las pruebas de campo descritas más arriba. Todos los datos usados en el siguiente ejemplo fueron tomados del (9).

Características generales de un pueblo hipotético:

Población ----- 4000 hab.
 Consumo Promedio Diario de Agua: 1,160 m³ por día
 Consumo máximo diario de agua: 2,000 m³ por día

Un almacenamiento elevado es suficiente para permitir operaciones filtrantes de 24 horas al promedio diario de un flujo de filtración de 13 L.P.S. y al promedio de filtración máximo de 23 L.P.S.

La planta será diseñada de modo que se usen dos filtros para producir la cantidad requerida de agua.

Los datos de las pruebas de promedio de flujo contra pérdida de carga final fueron determinadas como sigue:

| Promed. de Flujo - m ³ /m ² / día | Longitudes de carreras filtrantes en horas.- | | | |
|--|---|------|-------|-------|
| | 7.5 | 15 | 30 | 45 |
| 30 | 39.2 | 78.3 | 156.5 | 234.5 |
| 60 | 9.8 | 19.6 | 39.2 | 58.7 |
| 90 | | 8.7 | 17.4 | 26.1 |
| 120 | | 4.2 | 9.8 | 14.6 |
| 180 | | 2.17 | 4.34 | 6.52 |

Es evidente según estos datos que el body feed fué añadido en una cantidad suficiente para originar una relación lineal entre el volúmen de líquido filtrado y la pérdida de carga final.

A un promedio de flujo de 60 metros cúbicos por día y por metro cuadrado y a una pérdida de carga final de 30 metros de agua, se puede apreciar que la longitud del recorrido filtrante fué de 39,2 horas ó 1.6 días.

Durante este tiempo 1900 metros cúbicos de agua habrían sido filtrados. Desde que el promedio de filtración fué asumido a ser de 60 metros cúbicos por día y por metros cuadrado; El área filtrante requerida para operaciones de un día promedio es de 19,8 metros cuadrados. Suponiendo que la ayuda filtrante de precoat requerida fué de 500 gramos por metro cuadrado, la cantidad total de ayuda filtrante para precoating fué 9900 gramos. Durante las pruebas de filtración la cantidad de body feed requerida para mantener una relación en línea directa entre la pérdida de la carga y el tiempo fué encontrada en 40 ppm. Para 1900 metros cúbicos de agua, la demanda de body feed fué 76.00 kilos. El total de ayuda filtrante, body feed más precoat, fué de 85.9 kilos.

La ayuda filtrante fué supuesta a costar S/.5.00 por kilogramo.

Calculando los costos por mano de obra, Baumann y Babbitt (9) usaron datos prácticos verdaderos obtenidos en dos plantas municipales de operaciones.

En la planta de Mounds, Illinois, se requiere alrededor de una hora de trabajo para lavado precoating, y preparación de la mezcla de body feed al comienzo de cada ciclo filtrante. En la planta municipal en Cherry Valley, New York, se requiere alrededor de una hora por día por mano de obra cuando las carreras filtrantes son de 3 a 6 días. Haciendo un cálculo del costo diario de trabajo, Baumann supuso que una hora de trabajo sería requerida al comienzo de cada carrera filtrante, y que cuando las carreras filtrantes excedan las 12 horas, una media hora adicional sería necesitada por el operador para chequear la operación del filtro cada 12 horas. Así, para una carrera filtrante de 24 horas la carga de trabajo fué calculada para una ó una hora y media de trabajo.

Si las carreras filtrantes son de menos de 12 horas, el costo de trabajo por atención frecuente al filtro aumenta muy rápidamente. Basado en

la experiencia en Mounds, Illinois, alrededor de 3 horas de trabajo son requeridas diariamente si las carreras filtrantes son de menos de 12 horas. Si las carreras son de 2 horas, se requiere servicio contínuo para los filtros. En general, recorridos de menos de 24 horas, pueden ser considerados como impracticos y antieconómicos en las plantas de aguas municipales.

El costo diario de trabajo está basado en un jornal de 40 soles por hora, éste fué el promedio de cada hora por trabajo de Clase A en Illinois en 1953.

D.- OPERACION DE LA PLANTA.-

Después que el filtro ha sido puesto en operación será necesario hacer ajustes periódicos de operación, para compensar los efectos en las longitudes de las carreras filtrantes con las variaciones en la calidad del agua cruda. Es conveniente que el filtro sea diseñado de modo que estos efectos sean compensados por una variación en la cantidad de body feed usada durante la filtración. El equipo de body feed debe ser diseñado para proveer ajustes para las más amplias variaciones en la calidad del agua cruda mensualmente esperada.

Se necesita un método por el cual las demandas del body feed para diversas calidades de agua puedan ser calculadas con exactitud. Se han realizado pruebas para encontrar un medio de correlacionar la cantidad optima de body feed que deba ser usada para algunas características en la calidad de agua cruda (16).

Se pensó primero que la turbiedad del agua, determinada por pruebas normales proveería una base de predicción en las demandas del body feed. Agua cruda de conocida turbiedad fué filtrada a un promedio constante por una aplicación conocida de body feed para una pérdida de carga de 15 metros de agua. Pruebas adicionales fueron hechas con cantidades variables de body feed hasta que la cantidad óptima de ella fué determinada (volumen máximo de líquido filtrado en metros cúbicos por kilogramos de ayuda filtrante total). Luego se realizaron pruebas para reproducir los resultados en pruebas similares subsiguientes en las cuales fué usada agua de la misma turbiedad. Los resultados de las pruebas indicaron que las longitudes de las carreras filtrantes obtenidas con aguas de turbiedad similar variaron ampliamente, aun cuando la cantidad de body feed usada en cada recorrido fué

la misma.

Se llegó a determinar (15) que la turbiedad es una medida insatisfactoria de las cualidades filtrantes del agua cruda hasta donde la predicción de óptimas cantidades de body feed le conciernen, y que las demandas del body feed dependen de las características filtrantes de los sólidos suspendidos que no están comprometidos en la medición de la turbiedad. Las mismas conclusiones fueron alcanzadas por Sanchis y Merrell (6). A pesar de estas conclusiones a las que se han llegado, Baumann sugirió como una regla general solamente, que en ausencia de datos operacionales de las pruebas de campo, el equipo de body feed debe ser capaz de rendir un mínimo de 2 a 3 ppm. de body feed por 1 ppm. de turbiedad (14).

Con el propósito de encontrar una correlación de las características filtrantes del agua cruda con las demandas del body feed, se ha considerado el concepto de Filtrabilidad (16).

La filtrabilidad es definida como:

El volumen de agua a 20°C obtenida en 30 centímetros de pérdida de carga cuando un filtro de diatomita revestido con 730 gramos de una ayuda filtrante normal, por metro cuadrado de filtro; es operado sin body feed a un promedio de filtración de 180 metros cúbicos por

día y por metro cuadrado para una pérdida de carga final de 15 metros de agua.

Diferentes valores de filtrabilidad son obtenidos para cada tipo de ayuda filtrante usada. Después que se obtuvo un valor de filtrabilidad para un agua coagulada con cloruro férrico, el agua fué filtrada en varias pruebas con una diferente cantidad de body feed en cada prueba hasta que se determinó un valor óptimo de body feed, para el valor particular de filtrabilidad. Estas pruebas fueron ejecutadas usando dos tipos de ayuda filtrante. Los resultados de estas pruebas indicaron que existe una correlación entre la filtrabilidad del agua y el body feed óptimo.

Más análisis de los datos experimentales demostraron que la medida de filtrabilidad de la calidad del agua generalmente proporciona un amplio campo de cantidades óptimas de body feed, más que una relación exacta verdadera entre la filtrabilidad y el óptimo body feed.

Se necesitan más pruebas de campo para establecer una correlación entre la filtrabilidad y las demandas del óptimo body feed para agua conteniendo sólidos suspendidos, diferentes de aquellas resultantes de la coagulación con cloruro férrico.

Como un resultado de la investigación de la relación entre la turbiedad, filtrabilidad y body feed, puede establecerse que:

1. La turbiedad del agua cruda es una pobre medida con la cual determinar la cantidad de body feed a usarse en filtración con diatomita.
2. La medida de filtrabilidad es una mejor, pero aún no exacta guía.
3. Actualmente el método más efectivo de usar body feed es usar una cantidad suficiente para mantener una relación en línea directa entre la pérdida de carga a través del keke filtrante y del tiempo. Para usar este método el operador haría regularmente un gráfico de pérdida de carga contra tiempo (o utilizar un graficador automático de presión). Cuando la carga aumenta en una relación no lineal, el operador aumentaría el promedio de aplicación de body feed. Si la inclinación de la pérdida de carga contra la curva del tiempo se torna más plana, se reduciría el promedio de aplicación de body feed.
4. Se necesita una medida más propia para determinar la calidad del agua cruda, por medio de las cuales cantidades de body feed puedan ser halladas en forma muy precisa sin realizar pruebas de campo extensas.

E.- REGISTROS DE LA PLANTA.-

En un viaje de inspección reciente (1956) a 14 plantas municipales que utilizan filtros de diatomeas, solamente se encontró una planta manteniendo registros de suficiente alcance para permitir una continua evaluación de los costos de filtración de agua. (14) Con el propósito de operar una planta más económicamente el operador debe mantener registros, los cuales le permitirán hacer ajustes operacionales del body feed para asegurar que la longitud apropiada de las carreras filtrantes estén siendo obtenidos con la mejor economía de ayuda filtrante. La información mínima la cual debe ser registrada en este respecto es la turbiedad del agua. Aunque la turbiedad del agua no es una buena medida de las demandas del body feed, proporciona una base para demandas aproximadas en ausencia de una medida más segura.

Se sugiere que una hoja de datos para operaciones de la planta sea establecida como se muestra en la figura 30.

Esta información debe ser registrada diariamente y analizada frecuentemente en todas las plantas municipales de filtración de agua.

Figura 24.

Muestras de datos de operación
de una planta municipal con fil
tros de diatomeas.

- 1957 -

SMITHFIELD, ILLINOIS

REGISTROS DIARIOS DE DATOS DE OPERACIONES DE LA PLANTA MUNICIPAL DE AGUA

| FECHA | AGUA PRODUCIDA m ³ /día | PRECOPAT Kg. | BODY FEED Kg. | CLOHO Kg. | POTENCIA Kw. hr. | TURBIDEZ PPM. | LONGITUD RECORRIDO horas | OBSERVACIONES |
|---------|--|-----------------|---------------------|--------------|---------------------|------------------|--------------------------------|---------------------------|
| FEB. 1° | 1200 | 0.863 | 27.2 | 0.91 | 187 | 12 | 49 | Nuevo Ciclo 2:10 p.m. |
| 2 | 1200 | -- | 27.2 | 0.91 | 188 | 11 | | |
| 3 | 1195 | 0.863 | 22.7 | 0.91 | 189 | 9 | 52 | Nuevo Ciclo 6:00 p.m. |
| 4 | 1170 | 0.863 | 34.1 | 0.82 | 192 | 20 | 19 | Nuevo Ciclo 1:00 p.m. |
| 5 | 1150 | 0.063 | 36.4 | 0.82 | 193 | 21 | 18 | Nuevo Ciclo 7:00 a.m. |
| 6 | 1160 | 0.000 | 26.4 | 0.91 | 189 | 15 | 26 | Nuevo Ciclo 11:00 a.m. |
| 7 | 1200 | 0.063 | 27.2 | 0.91 | 188 | 11 | | |
| 8 | 1200 | 0.863 | 26.4 | 0.91 | 189 | 12 | 50 | Nuevo Ciclo 1:00 p.m. |

a- Lectura del medidor de o p.m.

Fig. 25 - muestra de Registro de datos de operación, planta municipal de intracción automatizada.

IX COSTOS DE FILTRACION.-

A.- FILTROS DE DIATOMITA.-

Los filtros de diatomita han sido usados en sistemas municipales de agua por un período de tiempo relativamente corto. Los resultados de un viaje de inspección en el año 1956 a las instalaciones municipales de filtración de agua en los Estados Unidos de Norteamérica, mostraron que la mayoría de las plantas tenían registros insuficientes para permitir análisis de los costos de filtración por diatomita del agua (14).

Sin embargo, los registros de las operaciones de la planta en Cherry Valley, New York, se encontraron suficientemente adecuados, para servir como una base para los análisis de los costos de filtración para pequeñas plantas municipales. (14)

En 1950, Pegg (5), entonces superintendente de agua en Cherry Valley reportó originales costos de operación para la planta de Cherry Valley. La planta en forma exitosa procesó agua con contenidos de turbiedad tan altos como 60 ppm. y conteniendo grandes cantidades de algas durante tiempo caluroso.

La precloración fué el único pre-tratamiento usado. Este fué el primer reporte sobre verdaderos costos de operación para una instalación municipal.

El costo original de la planta fué:

| | |
|----------------------------|------------|
| Equipo e instalación ----- | S/.420,000 |
| Edificio ----- | 27,000 |
| Total ----- | S/.447,000 |

La Tabla 4, es un resumen de los costos de operación en Cherry Valley, sobre la base de un promedio diario para cada mes de noviembre 1949 a marzo 1950.

La inspección de las instalaciones municipales de filtración por diatomita en 1956 verificó el registro más anticipado, del bajo costo de filtración por 1,000 litros de agua en Cherry Valley (14).

El pequeño aumento en los costos promedios diarios es probablemente debido a un aumento en el costo de los materiales y mano de obra, desde que la planta fué puesta en operación en 1949. La Tabla 5 muestra el promedio diario de demandas de materiales para meses típicos.

TABLA 4

RESUMEN ESTADISTICO DE OPERACIONES.

| MES | CONSUMO DE AGUA litros/dfa | AYUDA FILTRANTE USADA (Kg/dfa) | COLOR USADO (Kg/dfa) | ELECTRICIDAD USADA (Kw./dfa) | TIEMPO DEL OPERADOR (hr./dfa) | COSTO DIARIO soles | COSTO POR 1,000 litros.- soles. |
|----------|-------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| 1949 | | | | | | | |
| Noviemb. | 521565 | 7.695 | 0.881 | 92.25 | 1 | 122.00 | 0.23 |
| Diciemb. | 674629 | 16.610 | 0.816 | 101.5 | 1 | 151.50 | 0.22 |
| 1950 | | | | | | | |
| Enero | 690120 | 17.953 | 0.635 | 99.3 | 1 | 148.50 | 0.21 |
| Febrero | 693839 | 13.826 | 0.590 | 96.8 | 1 | 139.50 | 0.20 |
| Marzo | 840065 | 26.090 | 0.659 | 114.4 | 1 | 185.70 | 0.22 |

Tabla reproducida de (9)

TABLA 5

PROMEDIO DIARIO TIPOICO DE USO DE MATERIALES, PLANTA DE FILTRACION POR
DIATOMITA EN CHERRY VALLEY¹.

| MES | AGUA PRODUCIDA litros/dfa | PRECOAT Kg. | BODY FEDD Kg. | COLORO Kg. | POTENCIA Kw hr. |
|-------|---------------------------------|----------------|------------------|--------------------|--------------------|
| 1955 | | | | | |
| Febr. | 1,179,060 | 8,625 | 27,250 | 0.909 ^a | 187 |
| Mayo | 657,980 | 5,000 | 24,540 | 0.681 | 110 |
| Sept. | 378,500 | 3,170 | 15,000 | 1.000 | 110 |
| Dic. | 980,000 | 2,725 | 19,505 | 0.628 | 180 |
| 1956 | | | | | |
| Febr. | 1,185,260 | 3,170 | 17,710 | 0.681 | 205 |

1- Tabla reproducida de (14)

a- Estimado.

TABLA 6

COSTO DE MATERIALES, PLANTA DE FILTRO DE DIATOMITA EN CHERRY VALLEY.

| MES | Costo por 1,000 litros - soles | | | | | Por 1,000 litros |
|-------|--------------------------------|--------------------|-----------------------|--------------|--------|------------------|
| | Ayuda Filtrante ^a | Cloro ^b | Potencia ^c | Mano de Obra | Total | |
| 1955 | | | | | | |
| Feb. | 128.15 | 8.11 | 103.10 | 67.45 | 306.81 | 0.261 |
| Mayo | 105.10 | 6.08 | 60.50 | 67.45 | 239.13 | 0.364 |
| Sept. | 64.95 | 8.90 | 60.50 | 67.45 | 201.80 | 0.334 |
| Dic. | 79.20 | 5.67 | 99.50 | 67.45 | 251.82 | 0.256 |
| 1956 | | | | | | |
| Feb. | 74.55 | 5.93 | 113.20 | 67.45 | 261.13 | 0.221 |

- l Tabla reproducida del (4)
- a S/. 3250.00 por tonelada.
- b S/. 900.00 por Kg.
- c S/. 0.55 por Kilowatt hora
- d S/. 33.65 por viaje a la planta - 2 veces por día.
- e El promedio total es de S/.0.287 por 1000 litros añadir S/.0.14 por costos de depreciación para un costo de filtración total de S/.0.427 por 1000 litros.

TABLA 7

COSTOS TOTALES POR 1000 LITROS PARA LA FILTRACION DE AGUA
POR FILTROS DE DIATOMITA 1

| Condiciones de Flujo | Consumo de Agua L.P.D. | Costos de Operación \$/1000 lts. | Costos Fijos \$/1000 Lts. | Costos Totales \$/ 1000 lts= |
|----------------------------|---------------------------------|--|---------------------------------|---------------------------------|
| Dfa promedio | 1'158000 | 0.251 | 0.105 | 0.356 |
| Dfa máximo | 2'023900 | 0.299 | 0.060 ^a | 0.359 |

1 Dato de (9)

a Costos fijos para instalación basada en 2'023,900 LPD.
en vez de 1'158,000 LPD.

La Tabla 6, muestra los costos de operación para los mismos meses sobre la base del costo por 1000 litros de agua filtrada.

Debido a la falta general de datos de costo operacional correspondientes a instalaciones municipales de filtros por diatomita, Baumann y Rabbitt (9), en 1953, intentaron dar pautas generales para un diseño económico sobre una base hipotética, a ser usada como criterio para una operación económica de la planta. Las características de este pueblo hipotético y el diseño para la operación más económica ya han sido considerados en la sección VIII, C. El costo estimado de filtración del agua en el estudio bajo condiciones de día promedio y día máximo se muestran en la Tabla 7.

Los costos estimados de S/.0.335 por 1,000 litros según Baumann para el pueblo hipotético justamente están estrechamente de acuerdo con los verdaderos costos de operación obtenidos del análisis de los dos equipos de registros en Cherry Valley en dos diferentes períodos de tiempo. La posible razón para la discrepancia en costo por 1,000 litros entre el análisis de la planta de Cherry Valley y el análisis teórico considerado es que Baumann supuso agua de baja filtrabilidad en su análisis teóri-

co del costo. Se puede apreciar en la Tabla 7 que a medida que el promedio de filtración, o la capacidad de un filtro de diatomita aumenta, los costos fijos de la planta instalada decrecen.

Estos son los únicos datos de costo, actualmente existentes sobre la operación de instalaciones de abastecimientos de agua municipales.

Hay una necesidad de mayores informes a este respecto con el propósito de permitir exacta predicción de costos de operación para plantas que posean capacidades y calidades de agua semejantes. Para poder obtener datos de costo y de eficiencia filtrante para plantas adicionales, se deben realizar pruebas de campo controladas en las plantas municipales existentes, las cuales pueden ser adaptadas para tales investigaciones.

B.- FILTROS DE DIATOMITA vs. FILTROS DE ARENA.-

Los primeros datos proporcionados, cubriendo el costo de filtración por diatomita en comparación al costo de filtración con filtros de arena fué dado por Kominek (8) en 1947.

Este reporte puntualiza que debido al alto costo de la diatomita y de la potencia, los costos

de operación de la filtración con filtros de diatomita son más altos que aquellos encontrados en los filtros convencionales de arena. Por ejemplo, sobre la base de una pérdida de carga máxima de 3.5 kilogramo por centímetro cuadrado. (35 metros de agua) en un filtro de diatomita, se informó que la potencia requerida para bombear 3785 litros de agua, es alrededor de 0.56 Kw. El costo de la potencia era de S/.0.54 por Kw. Hr. resultando en un costo estimado de bombeo de S/.0.29 por 3785 litros. De otro lado, el costo de filtración de 3785 litros de agua a través de filtros de arena, con una presión de caída máxima de 0.35 kilogramos por centímetro cuadrado (3.5 mts. de agua) fué estimado a ser de 0.027 centavos por 3785 litros ó sea 10 por ciento del costo en filtros de diatomita.

La Tabla 8 compara todos los costos de operación, los cuales fueron considerados por Kominek comparando filtros de diatomita y de arena.

Allí parece haber un costo diferencial de S/.0.30 a S/.0.68 por 3785 litros de agua filtrada en favor de los filtros de arena.

COSTOS DE OPERACION: COMPARATIVOS ENTRE FILTROS DE DIATOMITA Y
 FILTROS DE ARENA.

| | FILTROS DE DIATOMITA | | FILTROS DE ARENA | |
|----------------|----------------------|---------------|------------------|---------------|
| | c/. x 1000 litros | Mínimo Máximo | c/. x 1000 lbs. | Mínimo Máximo |
| DIATOMITA | 1.4 | 17.8 | - | - |
| COAGULANTE | - | - | 0.7 | 5.7 |
| BOMBEO | 7.8 | 7.8 | 0.7 | 0.7 |
| AGUA DE LAVADO | - | - | 0.1 | 1.2 |
| TOTAL | 9.2 | 25.6 | 1.5 | 7.6 |

1 Tabla reproducida de (.8)

Aunque los costos de operación fueran más altos para filtros de diatomita que para filtros de arena, el informe puntualizó que debido al tamaño relativamente pequeño para una capacidad dada, los filtros de diatomita dan un ahorro en cantidad de espacio de suelo requerido para la instalación del filtro.

TABLA 2

COMPARACION DE LOS TAMAÑOS DE FILTROS DE DIATOMITA Y FILTROS DE ARENA

| Capacidad L.P.S. | Diametro de un filtro de diatomita b-a Metros | Diametro de un filtro de arena a presión vertical c Metros | Tamaño de un filtro de gravedad d Metros |
|---------------------|---|---|---|
| 378 | 0.51 | 1.99 | 2.44 ^e |
| 757 | 0.71 | 3.05 | 3.05 x 3.05 |
| 1135 | 0.91 | 2 de 2.45 | 3.05 x 4.60 |
| 1504 | 1.07 | 2 de 3.05 | 4.30 x 4.60 |

1 - Tabla reproducida de (8)

a. Reg. U.S. Pat. Office, Infilco Inc.

b. Promedio, $240 \text{ m}^3/\text{m}^2$ x dfa

c. Promedio, $180 \text{ m}^3/\text{m}^2$ x dfa

d. Promedio, $120 \text{ m}^3/\text{m}^2$ x dfa

e. Diametro.

Kominek, en este reporte anticipado, afirma que es difícil estimar exactamente los costos de instalación de un filtro de diatomita y de un filtro de arena con el propósito de comparar costos. En general, los filtros de diatomita costarán alrededor de 10 a 15 por ciento más que los filtros de presión de arena para una capacidad dada. Sin embargo, cuando el costo del edificio y del terreno requeridos son considerados, el costo total de la instalación de filtros de diatomita debe ser alrededor de 30 a 50 por ciento menos que para los filtros de arena.

La información en la Tabla 10, fué dada a conocer por Baumann en 1954 (17). Para filtros de 378 litros por minuto de capacidad, el dato de Kominek (Tabla 9) indica que el diametro de los filtros de presión verticales de arena es alrededor de cuatro veces el diametro de un tipo de filtro de diatomita. Los cálculos de Baumann verifican aquellos de Kominek. Por ejemplo, Baumann dá a conocer un diámetro de 55 centímetros para un filtro de diatomita de 300 L. P .M. de capacidad y un diametro de alrededor de 4 veces eso, o sea 2.15 metros para un filtro de presión vertical de arena.

TABLA 10

COMPARACION DE FILTROS DE DIATOMITA CON OTROS FILTROS¹

| CARACTERIS- TICAS | Armada U.S. Filtro de Dia- tomita Tipo Paquete. | Armada U.S. Filtro de Arena a Presión. | Armada U.S. Filtro diato- mita portátil | Armada U.S. Filtro de Are- na a Presión. | General Filter Co. Filtro de Arena a presión (vertical) | Proporcio- nes FAB. 28 ½ dia- tomita.- | Filtro de Are- na a gravedad |
|----------------------------------|--|---|---|--|--|---|---------------------------------|
| Area Filtrante mts 2. | 0.335 | 0.66 | ●.93 190 | 1.82 | 3.58 | 3.71 | 3.71 |
| Capacidad L.P.M. | 57 | 57 | 190 | 190 | 290 | 300 | 300 |
| Peso, Kilos (sólo del filtro) | 22.6 | 1300 | 160 | 3660 | 8100 | 216 | 11000 |
| Diámetro metros | 0.20 | 0.91 | 0.46 | 1.52 | 2.13 | 0.55 | 3.00 |
| Altura metros | 0.56 | 1.85 | 0.76 | 2.08 | 1.60 | 2.06 | 2.28 |
| Espacio de Te- rreno, metros | 0.25 x 0.25 | 0.94 x 1.24 | 0.61 x 0.61 | 1.54 x 1.90 | 2.45 x 3.05 | 0.76 x 0.76 | 3.00 x 3.00 |

¹ - Dato de (4)

TABLA 10

COMPARACION DE FILTROS DE DIATOMITA CON OTROS FILTROS¹

| CARACTERIS- TICAS | Armada U.S. Filtro de Dia- tomita Tipo Paquete. | Armada U.S. Filtro de Arena a Presión. | Armada U.S. Filtro diato- mita portátil | Armada U.S. Filtro de Are- na a Presión. | General Filter Co. Filtro de Arena a presión (vertical) | Proporcio- nes FAB. 28 ½ dia- tomita.- | Filtro de Are- na a gravedad |
|----------------------------------|--|---|---|--|--|---|---------------------------------|
| Area Filtrante mts 2. | 0.335 | 0.66 | 0.93 | 1.82 | 3.58 | 3.71 | 3.71 |
| Capacidad L.P.M. | 57 | 57 | 190 | 190 | 290 | 300 | 300 |
| Peso, Kilos (sólo del filtro) | 22.6 | 1300 | 160 | 3660 | 8100 | 216 | 11000 |
| Diámetro metros | 0.20 | 0.91 | 0.46 | 1.52 | 2.13 | 0.55 | 3.00 |
| Altura metros | 0.56 | 1.85 | 0.76 | 2.08 | 1.60 | 2.06 | 2.28 |
| Espacio de Te- rreno, metros | 0.25 x 0.25 | 0.94 x 1.24 | 0.61 x 0.61 | 1.54 x 1.90 | 2.45 x 3.05 | 0.76 x 0.76 | 3.00 x 3.00 |

1 - Dato de (4)

Debido a la falta general de información específica sobre filtración por diatoméas desde el punto de vista de una escala de operación, el departamento de investigaciones de la Compañía Johns-Manville, condujo estudios por un período de seis a siete años sobre la aplicabilidad, costo y efectividad de la filtración por diatomita (12). Para permitir análisis comparativos de ejecución de filtros de diatomita y filtros de arena, la instalación usada en las pruebas fué arreglada de modo que un filtro de diatomita y un filtro de arena operarán lado a lado, y fueron diseñados de modo que ellos pudieran ser operados independientemente o interdependientemente.

De los costos acumulados en las operaciones de rutina, una tabla de costos (Tabla 11) se preparó para comparar los costos de tres procesos de filtración:

- 1.- Filtración por diatomita de agua cruda con precloración.
- 2.- Filtración por diatomita de agua tratada, y,
- 3.- Filtración por arena de agua pretratada.

TABLA 11

COMPARACION DE COSTOS POR TRES METODOS DE FILTRACION DE AGUA¹

| Método de Filtración | Costo de Instalación | Costo de Amortización Anual | Mantenimiento Anual | Costo de Operación Anual | Costo Total Anual |
|-------------------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| Diatomita con pre-cloración | S/.4'400,000 | S/.154,160 | S/.163,980 | S/.368,900 | S/.687,040 |
| Diatomita con pre-tratamiento | 5'459,600 | 241,500 | 204,100 | 385,000 | 830,600 |
| Arena con pre-tratamiento | 8'037,960 | 311,900 | 263,210 | 102,080 | 677,190 |

1- Dato de (10)

El costo de la mano de obra, calefacción de la planta, el alumbrado y la supervisión han sido eliminados de la suma del costo total.

El dato resumido en la Tabla 11 se extrajo de (10).

Los datos de la Tabla 11 indica que el costo total anual, incluyendo ambos costos fijos y los de operación, son más bajos para filtros de arena que para filtros de diatomita. Los costos anuales de operación para filtración con arena es alrededor de 26 por ciento del costo para filtración por diatomita con precloración, y alrededor de 27 por ciento del costo para filtración por diatomita con pretratamiento. Sin embargo, el costo de instalación para filtración por arena es alrededor de 150 por ciento del costo para filtración por diatomita con pretratamiento y alrededor de 180 por ciento del costo para filtración por diatomita con precloración. El dato también indica costos anuales de amortización más elevados sobre el edificio y el equipo, y costos anuales de mantenimiento más elevados para filtración con arena que para filtración con diatomita.

Si una pequeña municipalidad enfrentara con el problema de construir una planta de tratamiento de agua con fondos limitados, harían bien en considerar

la gran diferencia en el costo inicial total de las construcciones y del equipo entre las instalaciones de filtración por diatomita y de filtración por arena. Aunque los gastos de operación son ligeramente más altos, en el caso de filtros de diatomita, el bajo costo inicial y los menores problemas de hipotecar la deuda, indica que una instalación de filtro de diatomita sería probablemente la más deseable para una pequeña comunidad.

Un factor adicional el cual debe ser considerado es que en el caso de que una planta de filtración de agua deba ser abandonada por alguna razón, las pérdidas causadas serían mucho menos en el caso de una instalación de diatomita.

X. RESUMEN Y CONCLUSIONES

A.- RESUMEN.-

El uso de los filtros de diatomeas en sistemas de abastecimiento de agua municipal es de un desarrollo relativamente reciente. Anterior a la II Guerra Mundial, estos filtros fueron usados extensamente en la industria química, pero no fueron usados para producir agua potable en municipalidades.

Durante la II Guerra Mundial, los filtros de diatomita fueron utilizados para abastecer las tropas de campo con agua para beber. Este rápido desarrollo fué efectuado por el hecho que los filtros convencionales de arena, en uso al comienzo de la guerra fueron incapaces de filtrar quistes de Entamoeba histolytica del agua. La presencia de estos organismos patógenos en el agua potable, presentaron un serio problema de salud en gran escala. Los filtros de diatomita eliminaron este problema. Se halló que ellos podían superar todos los organismos dañinos al agua, y proveer agua en promedios satisfactorios para usar en el campo.

Después de la II Guerra Mundial, los filtros de diatomita comenzaron a ser reconocidos como un

método conveniente de filtración de agua para piscinas. Debido a las bajas turbiedades encontradas, ciclos de filtración largos fueron obtenidos generalmente sin prestar demasiada atención al uso apropiado del equipo de filtración. Sin embargo, en anticipadas aplicaciones en sistemas de abastecimientos de agua municipal donde turbiedades más altas y menos consistentes fueron encontradas, pronto llegó a ser evidente que era necesario una mayor investigación dentro de los principios básicos de diseño y de operación, antes que los filtros de diatomita sean aceptados para uso general.

Durante el comienzo del período de post-guerra el ejército de los Estados Unidos negoció contratos de investigación con varias universidades con el objeto de aplicar la investigación básica al continuo desarrollo de este tipo de filtros para el ejército.

Los resultados de esta investigación, junto con los resultados de otras investigaciones, comprenden la mayor parte de la información de diseño y de operación, hoy en día aprovechable para el uso municipal de filtros de diatomita.

Existe un fuerte escepticismo por parte de los oficiales de salud de algunos estados y las autoridades

des municipales en los Estados Unidos de Norteamérica para aceptar los filtros de diatomita como un método seguro de esterilizar el agua para beber.

Sin embargo, varias municipalidades en el Este y el Centro han construído instalaciones filtrantes de diatomita. Algunas han tenido éxito, otras han fallado y han sido abandonadas. Un estudio de estas plantas indica que la razón por la cual la mayor parte de ellas fracasan se deben a una ignorancia general por parte de los ingenieros, diseñadores y operadores, sobre los principios básicos de diseño y operación de los filtros de diatomita. La continúa vacilación de otros estados y municipalidades para aprobar el uso de filtros de diatomita se basa parcialmente en los siguientes factores:

- 1- Prejuicio basado en la observación de plantas pobremente diseñadas y operadas en otras municipalidades.
- 2- Falta de datos necesarios para una apropiada evaluación de la performance de estos filtros.
- 3- Desconocimiento general sobre los principios de la filtracion por diatomeas.

- 4- Una creencia infundada que todos los filtros de diatomita son difíciles y caros para operar.
- 5- La falta de confianza en la propiedad de la delgada capa de ayuda filtrante en la criba para permitir solamente el paso del agua filtrada.

El propósito de ésta tesis es resumir, analizar y resumir los resultados de las investigaciones más importantes que han sido realizadas sobre filtración de agua por diatomeas, con el propósito de proporcionar a los ingenieros una comprensión de los principios básicos de diseño y operación de los filtros de diatomita. La información de esta tesis puede servir también para eliminar factores en los cuales se basa la vacilación general para aceptar la filtración por diatomeas en instalaciones de abastecimiento de agua municipal.

B.- CONCLUSIONES.-

- 1.- Los filtros de diatomita pueden ser diseñados para ser operados en forma eficiente y económica.
- 2.- Si se sigue, el criterio de diseño esbozado en la presente se proveerá filtros los cuales darán un servicio satisfactorio.
- 3.- Investigaciones adicionales se necesitan para determinar un criterio más exacto, para controlar las operaciones de body feed. Esto implica el desarrollo de una medida de filtrabilidad fácilmente determinada y una correlación entre la filtrabilidad del agua y la demanda del body feed.
- 4.- Para proveer más datos de costo, pruebas de campo adicionales deben realizarse en las instalaciones municipales las cuales sean adaptables para la investigación.
- 5.- Para asegurar que las plantas de filtración por diatomeas posean las demandas mínimas de salud, los departamentos de salud, y las municipalidades deben exigir que los procedimientos que se adopten sean como los recomendados en esta tesis.

LISTA DE REFERENCIAS

1. Black, Hayse H. and Charles H. Spaulding.
Diatomite water filtration developed for
field troops.
Journal of the American Water Works Ass.
36: 1208. November 1944.
2. Baumann, Edward Robert. Diatomite filters
for municipal instalations. Journal of
the American Water Works Associations,
Vol. 49, Nº 2 Feb. 1957.
3. Engle, J.W. Application of diatomaceous earth
filters to awimming pools recirculating
systems. Journal of the American Water
Works Association. 40:274-275. Feb. 1948.
4. Kiker, J.E. Diatomite filters for swimming
pools. Journal of the American Water
Works Association. 41:801. Sept. 1949.
5. Pegg, Edwin S. Diatomite filters turn out safe
clean water. Engineering News Record.
144: 35 - 37. May 18, 1950.
6. Sanchis, J.M. and J.C. Merrel Jr. Studies on
diatomaceous earth filtration. Journal
of the American Water Works Association.
43: 475 - 493 July, 1951.

7. Fraser, J.K. Diatomaceous earth filtration in New York State. Journal of the American Water Works Association. 46:151-155 Feb. 1954
8. Kominek, E. G. Industrial Application of diatomite filters. Industrial and Engineering Chemistry. 39:1413-1419. Nov. 1947.
9. Baumann and Babitt. Use of diatomite filters can be economical. Water Works Engineering 106: 526 - 528 ; 565 - 567. June 1953.
10. Bell, George R. Comparison studies of diatomite and sand filtration. Journal of the American Water Works Association. 48: 1103-1124 September 1956.
11. Enzweiler Robert. Experiments with diatomite filtration of lime-soda softened water. Water and Sewage Works. 105: 243. 1958.
12. Baumann Robert, James F. Miley, Paul E. Morgan. Operation of pressure vs. Vacuum diatomite filters using Iron - containing water. Project 368 -S Iowa Engineering Experimenting Station. July 4, 1959. Iowa State University Ames, Iowa.
13. Cummins A. B. Clarifying Efficiency of diatomaceous filter aids. Industrial and Engineering Chemistry. 34-202. April 1942.

14. Baumann Robert, Diatomite filters for municipal instalations. Journal of the American Water Works Association. 49:174-176 Feb. 57.
15. Baumann R. and H.E. Babbit, The removal of entamoeba histolytica cysts from water by porous filter septums either with or without filter aid. University of Illinois Engineering Experiment Station Bulletin 431. Urbana, Illinois 1954.
16. Taylor, Donald W. Fundamentals of Soil mechanics. John Wiley and Sons, incorporated. New York 1948.
17. A Manual for Pool Operators. Swimming Pool Age. 66-67; 134-135; 138-141 Nov. 1957.
18. Filtration. A review of Good Operating and Maintenance Procedures. Illinois State Department of Health. Swimming Pool Age. 50-63. April 1958.
19. Adams. Swimming pool filters for crystal clear water, Bulletin N^o 626. Buffalo 17, New York.
20. Martin, Deward M. and E. Robert Baumann. A study of several factors affecting the precot backwash, and the hydraulic characteristics of a diatomite filter. University of Illinois. Urbana, Illinois.