



11
245

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ZARAGOZA"

ANALISIS DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO
DE AGUA POTABLE EN LA ZONA ORIENTE DE LA
CIUDAD DE MEXICO

TESIS MANCOMUNADA
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
PRESENTAN:
PEDRO GABRIEL HERRERA GONZALEZ
JOSE ALFREDO RIVERA VILLAGOMEZ



MEXICO, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1991



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	<u>PAGINA</u>
I. INTRODUCCION	1
II. GENERALIDADES	3
II.1 SEPARACION MECANICA	7
II.2 FILTRACION	9
II.3 TIPOS DE FILTROS	12
II.4 MEDIOS FILTRANTES	38
III. FILTROS DE ARENA	44
III.1 DESCRIPCION	44
III.2 TIPOS DE FILTROS DE ARENA	48
III.3 DISEÑO	102
IV. ANALISIS DEL SISTEMA OPERATIVO DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE LA COLONIA AGRICOLA ORIENTAL	
IV.1 ANTECEDENTES	109
IV.2 SISTEMA OPERATIVO ACTUAL DE LA PLANTA	110
IV.2.1 ANALISIS FISICO QUIMICO DEL AGUA CRUDA	111
IV.2.2 DESCRIPCION DEL PROCESO	120
IV.3 ANALISIS DEL PROCESO	
IV.3.1 ANTECEDENTES	122
IV.3.2 SECCION DE ALIMENTACION	123
IV.3.3 SECCION DE DOSIFICACION DE REACTIVOS	124
IV.3.4 CIRCULADOR	126
IV.3.5 SECCION DE FILTRACION	131
IV.3.6 SECCION DE DISTRIBUCION A LA RED DE ALIMENTACION	134

PAGINA

V.	PROPUESTA DE MEJORAS AL SISTEMA DE OPERACION	133
	V.1 SECCION DE ALIMENTACION	133
	V.2 SECCION DE DOSIFICACION DE REACTIVOS	138
	V.3 CIRCULADOR	140
	V.4 SECCION DE FILTRACION	140
	V.5 PROPUESTA DE INSTRUMENTACION DE LA PLANTA Y DTI PROPUESTO	145
VI.	CONCLUSIONES	152
VII.	NOMENCLATURA	156
VIII.	BIBLIOGRAFIA	158
	APENDICES	162

INDICE DE FIGURAS

	<u>PAGINA</u>
FIG. 2.1	DIAGRAMA QUE ILUSTRAS EL PROCESO DE SEPARACION EN FORMA GENERAL..... 5
FIG. 2.2	DIAGRAMA ILUSTRATIVO DE UN FILTRO PRENSA..... 17
FIG. 2.3	DIAGRAMA ILUSTRATIVO DE UN FILTRO DE HOJAS..... 20
FIG. 2.4	DIAGRAMA ILUSTRATIVO DE UN FILTRO DE PLATOS..... 23
FIG. 2.5	DIAGRAMA ILUSTRATIVO DE UN FILTRO DE TUBOS..... 31
FIG. 2.6	ILUSTRACION ESQUEMATICA DE UNA SECCION DE UNA TORTA Y MEDIO FILTRANTE, AL CABO DE UN TIEMPO t DESDE EL INICIO DEL FILTRADO..... (APENDICE I) 164
FIG. 2.7	ILUSTRACION ESQUEMATICA DEL AREA BAJO LA CURVA PARA INTEGRACION POR METODOS GRAFICOS..... (APENDICE I) 170
FIG. 3.1	VISTA EN SECCION TRANSVERSAL FRAGMENTADA DE UN FILTRO DE ARENA... 51
FIG. 3.2	GRAFICA QUE RELACIONA EL TAMAÑO DE ABERTURA DE LA MALLA CON EL % EN PESO QUE PASA POR UNA MALLA DETERMINADA Y CON EL # DE LA MALLA QUE RETIENE ESTOS SOLIDOS..... 56
FIG. 3.3	SECCION TRANSVERSAL DE UN FILTRO DE ARENA QUE ILUSTRAS LOS NIVELES QUE PERMITEN CUANTIFICAR LA CARGA ESTATICA DEL AGUA Y LOS SITIOS Y NIVELES EN DONDE PODRIA EXISTIR UNA CARGA NEGATIVA..... 62
FIG. 3.4	FIGURA QUE MUESTRA EL EFECTO DE LA VELOCIDAD DE ASENTAMIENTO SOBRE EL LECHO DE UN FILTRO DE ARENA..... 64

INDICE DE FIGURAS (CONT.)

		<u>PAGINA</u>
FIG. 3.5	LAVADO TIPICO PARA UN FILTRO CON LECHO DE ARENA.....	69
FIG. 3.6	DIFERENTES SECCIONES DE CANALETA DE LAVADO PARA UN FILTRO CON LECHO DE ARENA.....	70
FIG. 3.7	TUBERIAS PERFORADAS PARA TRABAJO CON GRAVA, UTILIZADAS PARA EL DRENAJE DE UN FILTRO.....	79
FIG. 3.8	TUBERIAS PERFORADAS PARA TRABAJO CON BLOQUES Y GRAVA, UTILIZADAS PARA EL DRENAJE DE UN FILTRO.....	81
FIG.3.9 A	SECCION EN VISTA SUPERIOR DE UN FONDO PARA FILTRO TIPO WHEELER....	83
FIG.3.9 B	SECCION TRANSVERSAL DE UN FONDO PARA FILTRO TIPO WHEELER.....	84
FIG.3.10	MODELOS DE BOQUILLAS PARA EL LAVADO DEL FILTRO CON AGUA Y AIRE.	87
FIG.3.11	BATERIA DE FILTROS EQUIPADOS CON LECHO DE ARENA.....	92
FIG.5.1	INSTRUMENTACION TIPICA DEL TIPO 1 PARA UN FILTRO DE ARENA.....	148
FIG.5.2	INSTRUMENTACION TIPICA DEL TIPO 2 PARA UN FILTRO DE ARENA.....	150

INDICE DE TABLAS

	<u>PAGINA</u>
TABLA 2.1 LISTA DE LOS DIFERENTES PROCESOS INDUSTRIALES QUE UTILIZAN LA SEPARACION Y SUS CARACTERISTICAS....	10
TABLA 3.1 COMPARACION ENTRE FILTROS DE ARENA RAPIDOS Y LENTOS.....	46
TABLA 3.2 SERIE NORTEAMERICANA DE TAMICES Y SUS CARACTERISTICAS.....	53
TABLA 3.3 ANALISIS GRANULOMETRICO DE UNA MUESTRA DE ARENA.....	54
TABLA 3.4 VELOCIDADES DE LAVADO TIPICAS PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE PARTICULAS QUE COMPONEN EL LECHO DE UN FILTRO..	72
TABLA 3.5 CARACTERISTICAS DE LA ARENA Y ANTRACITA UTILIZADAS EN LOS FILTROS DE ARENA.....	104
TABLA 3.6 CARACTERISTICAS DE MEDIOS TRIPLES EN FUNCION DE LAS DIVERSAS CLASES CLASES DE FLOCULOS EXISTENTES.....	105
TABLA 4.1 AGENTES QUIMICOS Y CONCENTRACIONES UTILIZADAS EN LA PRUEBA DE LAS JARRAS.....	128
TABLA 4.2 DOSIFICACIONES ADMINISTRADAS COMUNEMENTE CON RESPECTO A LA TURBIEDAD PRESENTADA POR EL AGUA.....	130

INDICE DE CUADROS

PAGINA

CUADRO 2.1	DIAGRAMA GENERAL QUE MUESTRA UN DESGLOSE DETALLADO DE LA SEPARACION MECANICA.....	8
------------	---	---

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

El objetivo del presente trabajo, es analizar el sistema operativo de una planta potabilizadora de agua para posteriormente plantear mejoras al mismo, por lo que se subdividió en los siguientes capítulos:

Generalidades en el cual se describe la operación unitaria separación que es una de las operaciones principales para obtener agua potable. Por consiguiente para hablar de operación unitaria es necesario dar una pequeña introducción a la teoría de la filtración.

Al llevar a cabo una filtración, es necesario un medio defiltración, el cual permite la purificación de uno o algunos de los componentes, por lo que se debe de tener conocimiento de los diferentes tipos de filtros y medios filtrantes existentes en el mercado, por lo cual también en el capítulo de generalidades se hace mención de ellos.

Filtros de arena, que comprende la información necesaria para la construcción de este tipo de equipos, incluyendo desde una breve descripción hasta las ecuaciones o criterios heurísticos utilizados en la actualidad para su diseño.

Análisis del sistema operativo de la planta potabilizadora de la colonia Agrícola Oriental, en el cual se analiza el funcionamiento operativo de dicha planta, comprendiendo

varios subcapítulos: el de generalidades, que comprende los antecedentes relativos a la instalación de la planta y las razones que fundamentaron su construcción; el del sistema operativo de dicha planta, en el cual se describe el análisis físico-químico que se le realiza al agua utilizada y descripción del proceso; y por último, el del análisis del proceso en el que se analiza sección por sección la planta potabilizadora, indicando las anomalías encontradas en su funcionamiento.

Propuesta de mejoras al sistema de operación, en el cual se contemplan las fallas encontradas al llevar a cabo el análisis operacional de la planta para proponer una serie de mejoras en el funcionamiento del equipo de la planta, analizando por secciones las diferentes etapas para llevar a cabo la potabilización del agua, que se utilizan en la planta.

Conclusiones, en el cual se evalúan los logros obtenidos con este trabajo, indicándose las ventajas que se lograrán en el funcionamiento operativo de la planta potabilizadora.

I I . G E N E R A L I D A D E S

En los procesos químicos industriales por lo general se obtiene una mezcla de productos de los cuales solo uno o dos son de interés y con cierto grado de pureza. En consecuencia, la etapa final en la mayoría de los procesos químicos incluye algún tipo de separación. De hecho las dificultades para separar el producto deseado en un grado de pureza suficiente y a un costo bajo constituyen un obstáculo para la explotación comercial de un nuevo proceso.

Además de que los procedimientos de separación en un proceso químico están sujetos a las especificaciones del producto, el impacto ambiental de los afluentes debe tomarse en cuenta. Debido a las normas y reglas federales y estatales, respecto a la emisión de sustancias químicas que pueden descargarse en el ambiente en cantidades específicas, los "desperdicios de proceso" ya no deben descargarse al medio ambiente. La eliminación de estas sustancias químicas sujetas a las regulaciones también puede llevarse a cabo mediante la aplicación de técnicas simples de separación, o bien el problema de la separación puede ser difícil requiriendo grandes inversiones. De hecho, la incapacidad de reducir en forma económica las concentraciones de sustancias químicas reglamentadas a niveles aceptables puede conducir al cierre de una planta de producción.

Cualquier proceso de separación se puede representar por el diagrama que se muestra en la Figura 2.1, en la cual una corriente se alimenta a una unidad de separación donde se

4.

le divide en dos corrientes de producto que difieren en composición una de otra.

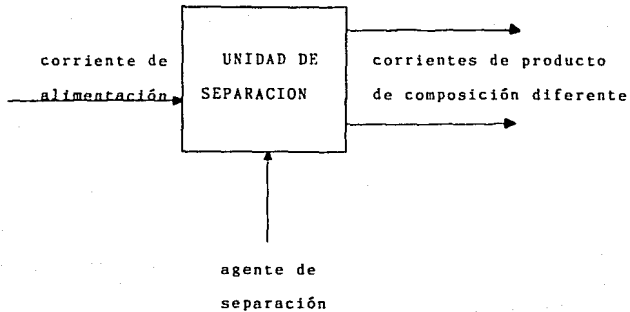


FIGURA 2.1.

ESQUEMA QUE ILUSTRAS EN FORMA GENERAL
EL PROCESO DE SEPARACION

La separación se lleva a cabo por la acción de un agente separador, éste puede ser otra corriente, o bien alguna forma de energía.

Los procesos de separación se definen como las operaciones que transforman una sola mezcla de sustancias o materiales en dos o más corrientes que difieren en composición una de otra.

La mayoría de los procesos de separación utilizados en la industria química se basan en la formación de una segunda fase de materia por medio del agente separador. Por ejemplo, en un proceso de absorción la corriente de alimentación es una mezcla de gases y el agente separador es una corriente de líquido que de preferencia disuelve uno o más componentes de la mezcla de gases. Las corrientes de producto de las unidades de separación son el líquido que contiene los componentes gaseosos disueltos y la corriente de gas ya agotada. La destilación es un ejemplo de proceso de separación en el que el agente separador provoca la formación de una segunda fase. En este proceso la alimentación es una corriente líquida y el agente de separación es la energía en forma de calor. El calor hace que se forme una fase vapor, los productos de la unidad de separación son la corriente de vapor que es más rica en los componentes más volátiles y la corriente líquida ya agotada.

En algunos procesos de separación ya existe una interfase definida en la corriente de alimentación y la unidad de separación junto con el agente de separación, solo sirven para separar las fases entre sí. Por ejemplo, un filtro sirve para separar las

fases sólidas y líquidas de una corriente, que forman una suspensión. Un precipitador electrostático separa las partículas de polvo de una corriente de gas de una chimenea al actuar como un campo eléctrico. A este tipo de separaciones se conoce como procesos de separación mecánica.

El cuadro 2.1 muestra las divisiones y subdivisiones en las que está dividida la separación mecánica así como el tipo de operación y equipos utilizados para llevar a cabo las diferentes separaciones mecánicas. Por ejemplo la filtración que se lleva por gravedad y por descarga discontinua utiliza los filtros de torta y filtros de arena.

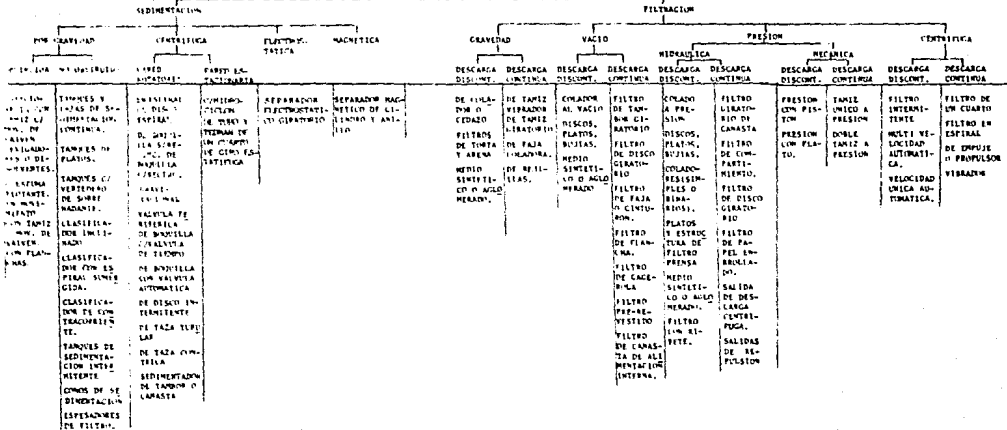
II.1 SEPARACION MECANICA

Los mecanismos utilizados en la separación mecánica están basados en el movimiento de partículas sólidas o gotas de líquido a través de un fluido. El fluido puede ser un gas o un líquido, y puede estar en movimiento o en reposo. En algunos casos el interés del proceso es la separación de las partículas sólidas de una corriente. En otros, el interés es recuperar el fluido o ambas fases.

Si una partícula parte del reposo con respecto al fluido, en el cual está sumergida o inmersa y después se mueve a través del fluido mediante la acción de una fuerza externa, al principio sufre una aceleración, durante la cual la velocidad aumenta desde cero hasta alcanzar su velocidad máxima final, después la partícula se mueve con su velocidad final.

SEPARACION MECANICA

60



CUADRO 2.1.- DIAGRAMA GENERAL QUE MUESTRA UN
DESGLASE DETALLADO DE LA SEPARACION
MECANICA.

En la tabla 2.1 se muestran los diferentes procesos industriales de separación entre los cuales se incluye a la filtración y sedimentación. Como se observa, los diferentes procesos industriales contemplan los tres estados de la materia que son el estado líquido, sólido y gaseoso, los cuales en forma individual o en combinación son las alimentaciones de los diferentes procesos.

En esta tabla se muestra también un agente separador, es decir un agente que ayuda a la separación de los componentes deseados, los cuales se llaman productos. Estos productos se obtienen o se separan en base a las características o propiedades que tienen. A manera ilustrativa se da un ejemplo de cada proceso industrial de separación mencionado.

11.2 FILTRACION

La filtración se define como una operación unitaria, que consiste en la separación de partículas sólidas contenidas en un fluido (insoluble en éste), al pasar a través de una membrana permeable, sin que exista reacción alguna.

La filtración se lleva a cabo por la acción de una fuerza impulsora forzando al flujo del fluido, la cual es debida a la fuerza de gravedad, vacío, presión o centrífuga.

TABLA 2.1

Lista de diferentes procesos industriales de separación

Nombre	Alimentación	Agente separador	Productos	Base de separación	Ejemplo
1. Destilación	líquido	calor	líquido y vapor	diferencia en volatilidad	separación de petróleo
2. Evaporación	líquido	calor	añido a líquido y vapor	igual que en (1)	secado de cristales
3. Adsorción	gas	líquido	líquido y vapor	solubilidad preferencial	eliminación de CO ₂ de una corriente H ₂ por adsorción en etilamina
4. Extracción con disolvente	líquido	líquido inmiscible	dos líquidos	diferencias en solubilidad	eliminación de componentes aromáticos de parafinas
5. Adsorción	gas o líquido	adsorbente sólido	fluido y sólido	diferencia en potenciales de adsorción	secado de gases por medio de desecantes sólidos
6. Cristalización	líquido	enfriamiento	líquidos y sólidos	diferencia en tendencias de congelación	separación de p-xileno de m-xileno
7. Intercambio iónico	líquido	resina sólida	líquido y resina sólida	ley de acción de masa	ablandamiento de agua
8. Secado	líquido-sólido	calor	sólido seco y vapor	evaporativo de agua	dehidratación de alimentos
9. Lixiviación	sólidos	disolvente	líquido y sólido	solubilidad preferencial	lixiviación de los componentes solubles en granos de café
10. Flotación	mezclas de sólidos pulverizados	burbujas de aire ascendentes y tensoactivos	dos sólidos	adsorción preferencial de uno de los especies sólidas sobre las tensoactivas	flotación de minerales
11. Galitización	líquido	gel sólido	fase de gel y líquido	diferencia en tamaño molecular	purificación de productos farmacéuticos
12. Filtración	líquido y sólido	medio filtrante	líquido y sólido	diferencia en tamaño del líquido y el sólido	recuperación de productos cristalinos
13. Sedimentación	líquido y sólido	gravedad	líquido y sólido	diferencia de densidad	tratamiento de agua para procesos
14. Centrifugación	líquido y sólido	fuerza centrífuga	líquido y sólido	diferencia de densidad	recuperación de productos sólidos
15. Separación en flujo	gas y sólido	flujo	gas y sólido	diferencia en densidad	recuperación de finas en catalizadores fluidizados
16. Precipitación	gas y sólido finamente divididos	campo eléctrico	gas y sólidos	carga sobre las finas finamente divididos	eliminación de polvo en gases de chubasco

Debido a que en los procesos de filtración la variable manipulable es la caída de presión (fuerza impulsora) y, dado que en los filtros a presión, la presión de salida es constante (presión barométrica), la caída de presión total se controla mediante la presión a la entrada. Si la caída de presión es constante el caudal de filtrado es máximo al principio y mínimo al final, esta operación recibe el nombre de "filtración a presión constante".

Si la caída de presión es variable, en este caso suele mantenerse constante al caudal de filtrado, denominándose a ésta operación "filtración a caudal constante". Una variable habitual consiste en filtrar a caudal constante hasta alcanzar una caída de presión especificada, continuando posteriormente a presión constante hasta finalizar la filtración. Este procedimiento minimiza la pérdida de sólidos a baja resistencia de torta y evita que los sólidos tapen el medio filtrante.

La filtración industrial va desde el simple colado hasta separaciones altamente complejas. El fluido puede ser un líquido o un gas; las partículas sólidas pueden ser gruesas o finas, rígidas o plásticas, redondas o alargadas, individuales, separadas o agregadas. La suspensión puede tener una concentración alta o muy baja de sólidos, puede estar muy fría o muy caliente, y estar sometida a vacío o alta presión.

La lista de los procesos que emplean las separaciones sólido líquido comprenden desde el tratamiento de aguas para recuperar minerales hasta la producción de petroquímicos, alimentos, combustibles, farmacos, cosméticos, pulpa de papel, -

12.

textiles y productos químicos agrícolas.

El propósito de la separación puede ser:

Recuperar el sólido

Recuperar el líquido

Recuperar tanto el sólido como el líquido

No recuperar ni el sólido ni el líquido,
sino sólo separar los dos antes de dese-
charlos.

II.3 TIPOS DE FILTROS

Como se puede observar en el cuadro 2.1 los filtros se dividen en cuatro clases generales, los cuales dependiendo de su construcción, operación mecánica y rasgos principales se clasifican como:

Filtros de presión

Filtros de gravedad

Filtros de vacío

Filtros centrífugos

II.3.1 FILTROS A PRESION

Los filtros a presión funcionan a una presión superior a la atmosférica en la superficie de filtración y atmosférica o mayor en el lado de corriente abajo. Por esta definición los filtros de carga hidrostática son de presión; sin embargo, por el uso, los filtros de presión han llegado a ser los dispositivos en que la presión de filtrado se impone mediante una bomba

para líquido o gas comprimido. Así los filtros a presión se alimentan con bombas de émbolo, diafragma, gusano y centrífugas, tanques inyectoros y corrientes que proceden de un reactor a presión. Excepto en las primeras etapas de un ciclo, los filtros a presión de torta raramente funcionan a menos de 25 lbf/plg², manométrica. No son raras las presiones operacionales de 50 a 75 lbf/plg² y se construyen filtros especiales a presión para dar acomodo a caídas de presión de 500 lbf/plg² ó más.

Las ventajas de los filtros a presión son:

Son utilización de presión elevada de filtración que permite las filtraciones relativamente rápidas, y la realización de separaciones difíciles que, de otro modo, serían lentas.

Su tamaño compacto proporciona un área grande de filtración por unidad de espacio de piso ocupado por el filtro.

Los filtros a presión por lotes ofrecen mayor flexibilidad que los de cualquier otro tipo, a costo inicial relativamente bajo.

Las desventajas son:

El filtro a presión por lotes, aún seguro y bien desarrollado, tiene dificultades para adaptarse a los procesos continuos y, en muchas aplicaciones, su manejo resulta costoso.

Por otra parte, los filtros continuos a presión son bastante inflexibles y los equipos son costosos.

Filtro Prensa

El filtro prensa es el más simple de los filtros a presión y sigue siendo uno de los más utilizados. Hay dos diseños básicos: la prensa de placas a nivel o la de placas y marcos, y la prensa de placas con recesos. Las placas de los dos tipos se pueden hacer de una gran variedad de materiales de construcción; de casi cualquier metal (vaciado o labrado), de metal recubierto (galvanizado, con cubierta de plásticos o caucho, etc.), de madera, de madera recubierta con resina epoxi y de polímeros sólidos (caucho duro, fenólico, vaciado y laminado, poliéster reforzado con vidrio y poliolefinas).

Una prensa de placas y marcos, como lo indica su nombre, es un conjunto de placas sólidas alternas, cuyas caras están horadadas, ranuradas o perforadas, para permitir el drenaje, y marcos huecos, en que se recoge la torta durante la filtración. Un medio de filtración, por lo común tela, cubre las dos caras de cada una de las placas. Por lo común, las placas y los marcos son rectangulares; aún cuando pueden ser también triangulares o circulares. Se suspenden en posición vertical sobre un par de barras de soporte. Durante la filtración, se comprimen en un cierre sustancialmente hermético al agua entre dos semiplacas de extremo. Una fija y la otra móvil, mediante un tornillo de molinete, una rueda dentada y una barra de pasador, un engrane y un piñón o un ariete hidráulico.

Se alimentan las prensas y se descarga el filtrado a través de canales en las esquinas de las placas y los marcos o en pestañas que se proyectan de los lados de las placas y los marcos. Esta última disposición elimina los orificios del canal en la tela de filtro, que son a veces causas de dificultades y fugas. El canal de filtrado puede ir a todo lo largo de la prensa, hasta una tubería de descarga situada en su extremo (descarga cerrada), o bien, se puede descargar por llaves individuales, una en la parte lateral de cada placa, a una artesa situada por debajo de la prensa (descarga abierta). Las llaves son útiles cuando se requiere un filtrado absolutamente claro, puesto que la llave de una placa con fugas que deja pasar sólidos se puede cerrar para retirar la placa del servicio. De otro modo, se prefiere la descarga cerrada y es esencial cuando se filtran materiales tóxicos o volátiles. Son posibles diferentes disposiciones de alimentación y descarga; la alimentación por el fondo y la descarga por la parte superior permiten un desplazamiento rápido del aire y producen una torta de uniformidad máxima, con sólidos normales; la alimentación por la parte superior y la descarga por el fondo proporcionan una recuperación máxima de filtrado y una desecación máxima de la torta, por lo cual es el método más apropiado para los sólidos pesados que se sedimentan y tienden a atascar los orificios de la entrada inferior; la alimentación doble y la descarga doble dan acomodo a materiales que se filtran a velocidades elevadas y a los materiales de gran viscosidad y

esta disposición es particularmente apropiada para el recubrimiento y el drenado de productos del filtro al final de una corrida.

Los filtros prensa se fabrican con tamaños de placa que van de 4 por 4 pulgadas a 61 por 71 pulgadas. Los espesores de los marcos se encuentran en el rango de entre 0.125 y 8 pulgadas. Las presiones de operación ascienden a 100 lbf/plg² y, con filtros metálicos de construcción especial, pueden funcionar a razón de 1000 lbf/plg².

Los filtros prensa tienen muchas ventajas y las principales son su simplicidad, bajo costo flexibilidad y capacidad para funcionar a presiones elevadas, ya sea como filtro clarificador o de torta. Las necesidades de espacio superior y espacio de piso por unidad de capacidad de filtración son pequeñas.

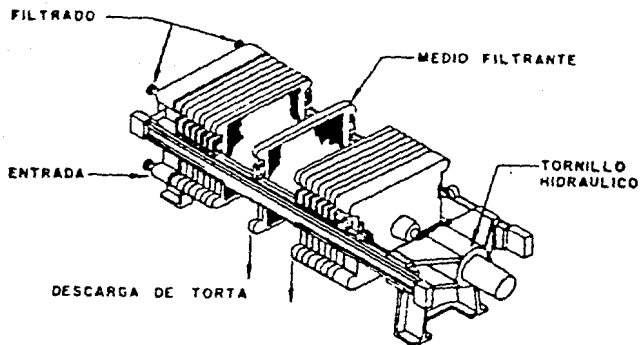


FIGURA 2.2. FILTRO PRENSA

DIAGRAMA ILUSTRATIVO DE UN FILTRO PRENSA

Filtro de Hojas a Presión

El filtro de hojas a presión consiste de un ensamblaje de elementos planos de filtración (hojas), sostenidos verticalmente en un casco a presión. Las hojas son circulares, con lados en forma de arco o rectangulares, y tienen superficies de filtración en ambas caras. El casco es un tanque cilíndrico o cónico y su eje puede ser horizontal o vertical, por lo que el filtro se describe en correspondencia, como horizontal o vertical. En los filtros verticales, las hojas se pueden reemplazar con elementos tubulares cilíndricos.

Los filtros de hojas a presión funcionan por lotes. El casco está cerrado y la lechada que se va a filtrar se admite desde una fuente a presión (bomba). La lechada entra de tal modo que se minimice el asentamiento de los sólidos suspendidos. Se llena el casco y la filtración tiene lugar en las superficies de las hojas, descargándose el filtrado por una línea individual o a un múltiple interno, según sea el diseño. Se permite que la filtración se produzca solo hasta que se forme una torta de determinado espesor, puesto que el llenado excesivo provocará la consolidación de la torta, con las dificultades consiguientes para el lavado y la descarga. La decisión de cuándo concluir el ciclo de filtración depende, en gran parte, de la experiencia proporcionada, aproximadamente por la velocidad de formación de la torta en un filtro a presión constante o la caída de presión, en un

filtro a velocidad constante.

Existen filtros de hojas a presión con áreas de filtración de un pie² (tamaño de laboratorio), hasta cerca de 600 pies² para filtros verticales y 1600 pies² para los horizontales. Los espaciamientos de las hojas son de 2 a 6 pulgadas; pero pueden ser de 3 pulgadas, puesto que es preciso dejar una abertura de 0.5 a 1 pulgada entre las superficies de las tortas. Cuando se utilizan tubos en lugar de hojas, el área máxima es un poco menor de aproximadamente 300 pies².

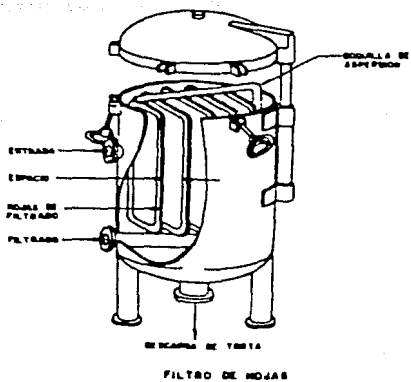


FIGURA 2.3

DIAGRAMA ILUSTRATIVO DE UN FILTRO DE HOJAS

Filtros de Platos

Están constituidos por los siguientes elementos:

- Tanque vertical
- Alojamiento para cartuchos (cartuchera)
- Elementos de fijación de la cartuchera al tanque
- Medio filtrante

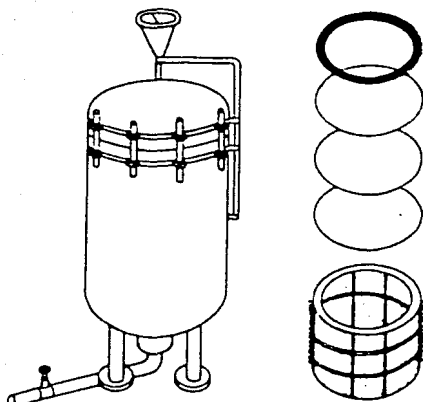
en donde el medio filtrante actúa como empaque y filtro. La dirección del flujo a través del medio es de la parte superior hacia abajo del plato circular, en donde se forma la torta. El flujo por gravedad proporciona una estabilidad de torta excelente.

En este tipo de filtros el líquido a filtrar se introduce a presión y una vez que éste se llena se obliga al líquido a pasar a través del medio filtrante, quedando las partículas en suspensión en la superficie del mismo, descargando el líquido claro a un colector central.

Este tipo de filtros se utilizan para líquidos a filtrar con un contenido de sólidos hasta de 1% normalmente y en operaciones de pulido, se emplean generalmente en líneas de embotellado, bebidas, productos farmacéuticos, pinturas e industria química general. Las ventajas de este tipo de filtros son: adaptabilidad para utilizar papel como medio filtrante, excelente estabilidad de torta para filtraciones intermitentes; sus desventajas son: alto costo de mano de obra (operación), rompimiento de la torta si los platos están

22.

torcidos y limitaciones de tamaño. Los materiales de construcción incluyen acero inoxidable 304 y 316 ó algún otro material o aleación en especial dependiendo del flujo a filtrar.



FILTRO DE PLATOS

FIGURA 2.4

DIAGRAMA ILUSTRATIVO DE UN FILTRO DE PLATOS

II.3.2 FILTROS POR GRAVEDAD

En un filtro por gravedad, el flujo de filtrado se produce debido a la presión hidrostática de la columna de material para filtrar, que permanece por encima de la superficie de la torta o el medio de filtro. Esta presión es siempre relativamente baja o va de un máximo de unos cuantos centímetros de fluido en un embudo de laboratorio a un máximo de unos cuantos pies de fluido en un filtro de una planta. Por lo tanto, se usan filtros por gravedad sólo para materiales de filtración relativamente libres de partículas y en los casos en que no se requieran velocidades más elevadas. Las ventajas de los filtros por gravedad son:

1. Gran simplicidad
2. Bajo costo inicial
3. Dependencia de los accesorios más sencillos
4. Posibilidad de construirlo casi de cualquier material por ejemplo de porcelana o loza química
5. Tiene las ventajas de cualquier filtro horizontal de superficie superior; las partículas grandes se asientan con rapidez en la superficie de filtración, para proporcionar una pre-recubrimiento de baja resistencia para las partículas más finas; el lavado de la torta es efectivo y eficiente.

Las desventajas son:

1. Velocidades relativamente bajas de filtración.
2. Excesiva área de piso que se ocupa por unidad de área de filtración.
3. Los costos elevados de mano de obra que se requieren
4. Problemas de limpieza

Excepto en los laboratorios de química, en las plantas a escala muy pequeña, los filtros por gravedad se usan raramente en las industrias de procesamiento.

Un filtro de succión por gravedad es un tanque equipado con un fondo falso, perforado o poroso, que puede soportar un medio de filtración o actuar como septo. En un filtro de succión por gravedad, la lechada contenida en el tanque se filtra mediante su propia carga hidrostática, el filtrado se recoge en un resumidero bajo el filtro o corre directamente al alcantarillado.

Es posible un lavado completo de desplazamiento en un filtro de succión, si se agrega la cantidad deseada de disolvente original de la torta, por medio del aire. Si resulta que el lavado es difícil de realizar, se puede equipar el filtro de succión con un agitador que volverá a formar lechada con la torta y la mantendrá en suspensión hasta que se haya producido una dilución y una difusión suficiente del contaminante.

Cuando no es necesario que la torta se descargue en forma seca, si se equipa el filtro con una línea que descarga al ras con la superficie de filtración y con un agitador de reforma de la lechada, se podrá obtener un desprendimiento rápido y simple de la torta. Sin embargo, una torta seca sólo se puede retirar mediante el respaldo a mano, en una operación que es costosa en mano de obra y produce un desgaste excesivo de cualquier tela de filtro que se utilice. La torta se puede descargar a través de un orificio en la porción inferior de la pared del tanque, o bien, si el filtro de succión es pequeño, el casco superior o el cabezal inferior se pueden retirar para proporcionar acceso a la torta. Con frecuencia los filtros de succión se construyen en las plantas de metal o madera y se pueden adquirir fondos falsos de madera con este fin, de los fabricantes de tanques de madera. Los filtros de succión raramente son de más de 8 pies de diámetro (aproximadamente 2000 galones de capacidad y 50 pies cuadrados de área de filtración). Los filtros de succión pueden ser cerrados y con el diseño estructural adecuado, pueden funcionar como filtros de presión o vacío.

Filtros de Arena

El tipo más común de filtro por gravedad es el de lecho de antracita o arena. Estos filtros están constituidos por un tanque, un distribuidor de agua, un dren inferior o colector de agua filtrada, de varias capas de grava y arena o algún otro material similar de diferentes tamaños de partícu-

las, de un sistema de lavado de superficie y de una entrada de hombre. Las capas de grava varían entre 20 y 50 centímetros de altura y los lechos de arena entre 45 y 75 centímetros de altura. El tamaño de partículas del lecho disminuye del fondo hacia la parte superior. El lecho granular es el medio de filtración y se agrega al material que se va a filtrar en su parte superior. El filtrado se retira o sale por el fondo falso o tuberías de drenaje perforadas, empotradas en el medio, cerca del fondo. El filtro puede estar cerrado y funcionar a presión, en lugar de hacerlo por gravedad.

El filtro de arena es un dispositivo clarificador, en términos estrictos aún cuando se puede reunir una torta visible en la superficie, hacia el final del ciclo de filtración. Este tipo de filtros se utiliza o tiene su mayor aplicación y demanda para la filtración de agua potable o agua para la fabricación de bebidas. Se puede construir en la misma planta o adquirir diseños especiales, con instalación supervisada, en compañías que se especializan en el acondicionamiento de agua.

II-3-3. FILTROS A VACIO

Los filtros al vacío funcionan a una presión menor que la atmosférica en el lado corriente abajo del septo del filtro. Por lo común, la presión corriente arriba es esencialmente la atmosférica. Por consiguiente, los filtros al

vacío se limitan a una presión máxima de filtración de 1 atm.

Puesto que la lechada de pre-filtración se alimenta a presión atmosférica, puede llegar al tanque del filtro por gravedad o utilizando una bomba de carga baja. Por otra parte, el filtrado se debe comprimir a partir de la presión operacional del receptor hasta la atmosférica, antes que se pueda descargar. Para esta operación se emplea una bomba de filtrado (por lo común, una bomba centrífuga o de turbina de autoarranque) o un brazo barométrico. La bomba al vacío es un accesorio importante para los filtros al vacío, puesto que es la fuente de la fuerza impulsora de filtración y en muchas instalaciones, el dispositivo de mayor costo operacional. Por lo común se escogen bombas secas al vacío en lugar de las de vía húmeda y bombas Nash, de movimiento alterno, y giratorias además de eyectores. La elección es más bien de índole económica y depende de los detalles del servicio. En algunos casos, un brazo barométrico que se descarga en un sello de sumidero elimina la necesidad de una bomba al vacío.

Se utilizan filtros tanto por lotes como continuos en aplicaciones de procesamiento; pero el número predominante de instalaciones es, por mucho, del último tipo. De hecho, la principal justificación de la filtración al vacío es su adaptabilidad a los sistemas continuos.

Las ventajas de los filtros al vacío son:

- . Se pueden diseñar como filtros continuos eficaces.
- . Como tales, utilizan poca mano de obra y son adi-

ciones eficientes para los procesos continuos.

- . La superficie de filtración se puede abrir a la atmósfera y, por consiguiente, es fácil de llegar a ella para efectuar inspecciones y reparaciones.
- . Por lo común, los costos de mantenimiento son reducidos.

Las desventajas son:

- . Se debe mantener un sistema de vacío.
- . No se pueden usar filtros al vacío con filtrados volátiles, ya sea debido a un punto normal de ebullición bajo o una temperatura de operación elevada.
- . La mayoría de los filtros al vacío no pueden manejar sólidos compresibles cuya filtración es difícil.
- . Los filtros continuos al vacío son inflexibles y no ofrecen un buen desempeño si su corriente de alimentación cambia con respecto a la velocidad, la consistencia o el carácter de los sólidos.

Los filtros continuos al vacío manejan probablemente un mayor tonelaje de sólidos que todos los demás tipos de filtros combinados. Por otra parte, los filtros al vacío por lotes tienen un aprovechamiento local limitado en el procesamiento químico.

Filtro de Tubos

Un filtro de tubos normalmente contiene tubos verticales que consisten de elementos alambrados, paquetes de anillos, algodón sintético, mallas de alambre flexible, cerámicas porosas y carbón poroso. Los tubos pueden estar montados para una descarga superior o inferior. La descarga de la torta depende de la acción de lavado con o sin aire, o con una bomba de gas. Las principales características de este filtro son: espacio pequeño requerido para su instalación, bajo costo de construcción y operación simple. Su desventaja es que los tubos deben lavarse uniformemente para evitar la acumulación de impurezas, la descarga en seco no es posible más que en algunos diseños y la construcción de los tubos debe ser tal que pueda soportar el flujo en dos direcciones.

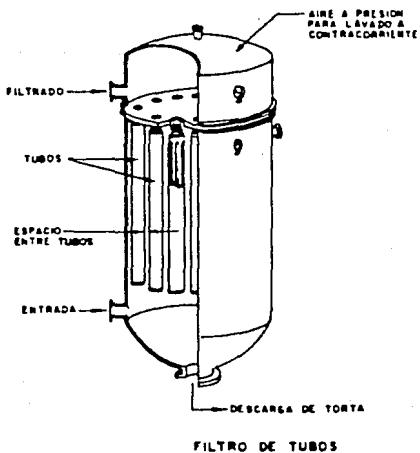


FIGURA 2.5

DIAGRAMA ILUSTRATIVO DE UN FILTRO DE TUBOS

FILTRO NUTSCHE O FILTRO DE LECHO POR LOTES

Opera de una manera similar al filtro Buchner y consiste de tanques cilíndricos o rectangulares divididos en dos compartimientos mediante un medio horizontal soportado por un plato de filtro. El vacío es aplicado al compartimiento inferior a partir del cual se colecta el filtrado, La torta es separada manualmente o algunas veces mediante la reformación de la lechada.

Este tipo de filtros son particularmente ventajosos cuando es necesario mantener la separación por lotes y cuando se requiere un lavado extensivo. Son simples en su diseño, pero laboriosos en la descarga de la torta. Tienen ventajas de simplicidad de construcción y operación, desplazamiento efectivo de lavado, facilidad para procedimientos de prueba y estudios a nivel planta piloto, facilidad para manejo, de materiales cristalinos y para manejar materiales corrosivos. Su uso requiere de un alto costo de mano de obra para descarga de la torta y ocupa mucho espacio por unidad de filtración. Puede construirse de varios materiales incluyendo plásticos reforzados.

FILTROS DE HOJAS DE VACIO O FILTROS MOORE

Consiste de un número de hojas múltiples en conjunto y conectadas a un vacío. Las hojas, las cuales son llevadas por una grúa por arriba durante la filtración, son sumergidas

sucesivamente en un tanque de alimentación de la lechada en donde se lleva a cabo la filtración, un tanque de retención, en donde ocurre el lavado, y un recipiente que recibe la torta, en donde se lleva a cabo la descarga de la torta, usualmente por retrosoplado. Sus ventajas radican en la limitación de manejar líquidos volátiles y en controlar la temperatura debido a su construcción abierta y limitaciones de la presión diferencial, impuesta por el uso del vacío. El tanque puede construirse de una amplia gama de materiales incluyendo madera y concreto. Los elementos pueden construirse de metal y plástico.

II.3.4. FILTROS CENTRIFUGOS

Los sólidos que forman una torta porosa pueden separarse de los líquidos en una centrifuga filtrante. La suspensión se introduce como alimentación en una canastilla rotatoria provista de paredes perforadas o acanaladas. Recubriendo la pared se encuentra un medio de filtración tal como lona o tela metálica. La presión producida por la acción centrífuga obliga al líquido a pasar a través del medio filtrante, dejando detrás los sólidos. Si se corta la alimentación de la canastilla y se deja girar durante poco tiempo, escurre gran parte del líquido residual contenido en la torta dejando los sólidos más "secos" que en un filtro prensa, e incluso que en un filtro de vacío. Cuando al material filtrado posteriormente hay que secarlo por medios térmicos, puede

obtenerse un ahorro considerable con el uso de una centrífuga.

Los tipos principales de centrífugas filtrantes son: máquinas suspendidas que operan en forma discontinua; máquinas automáticas del ciclo corto que operan por cargas y centrífugas transportadoras continuas. En las centrífugas suspendidas el medio filtrante es lona u otro tejido, o bien, tela metálica. En las máquinas automáticas se usan tamices metálicos finos; en las centrífugas transportadoras el medio filtrante está formado generalmente por la pared ranurada de la misma canastilla.

Centrífugas Discontinuas Suspendidas

Una clase común de centrífugas por cargas en los procesos industriales es la centrífuga con suspensión superior. Las canastillas perforadas oscilan entre 0.750 y 1.20 m de diámetro y de 0.45 a 0.75 m de profundidad, y giran a velocidades comprendidas entre 600 y 1,800 rpm. La canastilla está suspendida en la parte inferior de un eje vertical giratorio que es accionado desde arriba y que puede girar libremente. Un medio filtrante recubre la pared perforada de la canastilla. La suspensión de alimentación entra en la canastilla rotatoria a través de un tubo o vertedero de entrada. El líquido sale a través del medio filtrante hasta la carcasa y luego pasa al conducto de descarga; los sólidos forman una torta de 5 a 15 cm de espesor dentro de la canastilla. El líquido de lavado puede rociarse sobre los sólidos para elimi-

nar el material soluble. Entonces se hace girar la torta hasta que se seque lo más posible, a veces, a velocidad mayor que durante las etapas de centrifugación y lavado. Se conecta el motor y se reduce la velocidad de la canastilla, casi hasta detenerla, por medio de un freno. Cuando la canastilla gira lentamente, a unas 30 o 50 rpm., se descargan los sólidos mediante una cuchilla rascadora, que desprende la torta del medio filtrante y la deja caer a través de una abertura situada en el fondo de la canastilla. Se lava el medio filtrante, se conecta el motor y se repite el ciclo.

Centrífugas con Suspensión Superior

Las centrífugas con suspensión superior se usan ampliamente en el refinado de azúcar, donde operan en ciclos cortos, de 2 a 3 minutos por carga, y producen hasta 5 Ton/hr de cristales por máquina, a menudo existen controles automáticos para una o todas las etapas del ciclo. Sin embargo, en la mayor parte de los procesos en que se separan grandes toneladas de cristales, se emplean otras centrífugas automáticas o centrífugas transportadoras continuas. Excepto en el refinado de azúcar, la mayor parte de las centrífugas suspendidas operan con ciclos de 10 a 30 min. por carga, descargando de 350 a 2.000 kg de sólidos por hora.

Centrífugas Discontinuas Automáticas

En esta máquina la canastilla gira con velocidad

constante sobre un eje horizontal. La suspensión de alimentación, el líquido de lavado de la torta y el de limpieza del tamiz se introducen sucesivamente en forma de rocío dentro de la canastilla a intervalos adecuados. Durante espacios de tiempo controlado. La canastilla se descarga mientras gira a toda velocidad mediante una cuchilla fuerte que asciende periódicamente, que corta los sólidos y los saca con fuerza a través de un vertedero de descarga. Mediante reguladores cíclicos de tiempo y válvulas de solenoide, se controlan las distintas partes de la operación: alimentación, lavado, revoluciones, limpieza y descarga. Cualquier parte del ciclo puede prolongarse o acortarse a voluntad.

La canastilla en estas máquinas tiene un diámetro comprendido entre 50 y 100 cm. Las centrífugas automáticas tienen gran capacidad de producción para cristales que escurren fácilmente. Generalmente no se pueden utilizar cuando la alimentación tiene muchas partículas más finas que el tamiz de malla 150. Para cristales gruesos el ciclo total de operación fluctúa entre 35 y 95 seg., de modo que la producción horaria es grande. Debido a que el ciclo es corto y la retención necesaria para la suspensión de alimentación, el filtrado y los sólidos es pequeña, las centrífugas automáticas se incorporan fácilmente a los procesos continuos. Las cargas pequeñas de sólidos pueden lavarse eficazmente con pequeñas cantidades de líquido de lavado, y, lo mismo que en cualquier máquina discontinua, se puede aumentar ocasionalmente la cantidad de líquido de lavado con el fin de obtener un produc-

to de mejor calidad si fuera necesario. Las centrífugas automáticas no pueden operar con sólidos que escurren difícilmente ya que serían precisos ciclos prolongados y antieconómicos, ni tampoco con sólidos de descarga difícil. Por otra parte, hay también una rotura o degradación considerable de los cristales, producida por la cuchilla de descarga.

CENTRIFUGAS DE FILTRACION CONTINUA

Un separador centrífugo continuo para cristales gruesos es la centrífuga transportadora de vaivén. La canastilla de la centrífuga se carga a través de un embudo de alimentación giratorio. El objeto del embudo es acelerar progresiva y suavemente la suspensión de alimentación, que entra por el extremo estrecho del embudo, procedente de un tubo fijo situado en el eje de rotación de la canastilla desplazándose hacia la parte ancha del embudo, ganando velocidad a medida que se desplaza y cuando sale de éste hacia la pared de la canastilla, sale girando en el mismo sentido que la pared y aproximadamente con la misma velocidad. El líquido fluye a través de la pared de la canastilla, que puede estar cubierta con tela metálica. Se forma una capa de cristales de 2.5 a 7.5 cm de espesor. Esta capa se mueve sobre la superficie de filtración por medio de un impulsor de vaivén. Cada golpe del impulsor mueve los cristales unos pocos centímetros hacia la parte exterior de la canastilla; durante el movimiento de retroceso se libera una parte de la superficie

de filtración, sobre la cual comienzan a depositarse cantidades adicionales de torta. Cuando los cristales alcanzan la parte exterior de la canastilla, caen en el interior de una gran carcaza y pasan a un colector de descarga. El filtrado y cualquier líquido de lavado que se rocíe sobre los cristales durante su recorrido, abandonan la carcaza por salidas separadas. La aceleración lenta de la suspensión de alimentación y la desaceleración de los sólidos de descarga hacen que la rotura de cristales sea mínima. Las centrífugas de vaivén se construyen con canastillas que fluctúan entre 30 cm y 120 cm de diámetro, y escurren y lavan de 0.3 a 25 Ton/hr de sólidos que no contienen más del 10 por ciento en peso de cristales inferiores a la malla 100.

II.4 MEDIOS FILTRANTES

Lo fundamental en cualquier filtro es el medio filtrante, de hecho aún el más ingenioso filtro es inútil sin un medio adecuado.

Las características de un medio filtrante dependen de las propiedades del material del que es fabricado y de las técnicas empleadas en su elaboración.

La función del medio filtrante es la de retener los sólidos y permitir el paso del líquido.

Los criterios fundamentales para la selección de un medio filtrante son los siguientes:

- a) Tamaño mínimo de partícula retenida

- b) Permeabilidad o resistencia al flujo
- c) Resistencia al calor, a la acción de productos químicos, a la abrasión y a la flexión.
- d) Facilidad de limpieza
- e) Estabilidad dimensional

Además de estas características, se necesita información del estado físico (concentración de partículas, temperatura, etc.) de la suspensión y su constitución química. En algunos casos, el componente deseable en la suspensión es el líquido que puede requerirse en forma clarificada, en este caso las partículas pueden considerarse sin valor y la selección de un elemento de lecho profundo de gran capacidad de retención de sólidos puede ser lo indicado. Por otro lado, cuando los sólidos son de interés, el tamaño de la partícula a separar se considera para la selección de éste.

La permeabilidad del medio limpio tendrá importancia en determinar los requerimientos de potencia y en decidir el flujo inicial a través del medio filtrante.

La resistencia al calor, a la acción de productos químicos, a la abrasión y a la flexión, son factores de vital importancia para la selección de un medio filtrante, ya que dependiendo de la composición química de la suspensión, temperatura de operación y naturaleza de los sólidos, será la selección del medio filtrante.

La estabilidad dimensional del medio filtrante debe

ser tal que el tamaño de la abertura no sufra variaciones durante la operación o cuando existan diferencias de temperatura.

Además su facilidad de limpieza dependerá del gasto de agua de lavado, por lo que el medio filtrante debe sufrir la menor impregnación posible de materia a filtrar.

DESCRIPCION DE DIFERENTES MEDIOS FILTRANTES

Cerámica y Sílice

Este es un grupo de materiales que son de valor especial por su resistencia al ataque químico y a las temperaturas elevadas. En realidad los filtros de sílice están comprendidos dentro del grupo de cerámicas. La característica común de ambos es que están compuestos por sólidos en polvo tratados a temperatura de 1400°C.

Esta clase de medio filtrante toma dos formas diferentes, una de las cuales comprende platos perforados con orificios de 1/4 de pulgada de diámetro.

La segunda de ellas es de considerable importancia en la industria, ya que incluye toda clase de elementos porosos. Generalmente están disponibles en forma cilíndrica y plana, de tal forma que su estructura está restringida a un número pequeño de formas y tipos de filtros, además de que son relativamente frágiles.

Metales

El uso de metales como medio filtrante se había

tratado con reserva, debido a las variaciones en porosidad y a problemas de tipo mecánico. Consecuentemente, se utilizaban como un último recurso bajo condiciones de operación muy severas. Sin embargo, se ha logrado recientemente avanzar en éste campo, de tal manera que se pueden encontrar filtros metálicos de bronce, acero inoxidable, inconel, etc. Su única desventaja es su alto costo. Los filtros o medios filtrantes metálicos son producidos a partir de metales en polvo o alambre tejido. Los polvos pueden comprender partículas de forma irregular o esférica, y los de alambre tienen dos formas básicas, dependiendo de si se utilizan una o varias capas de alambre entretejido.

Controlando el tamaño de partícula de los polvos y el tejido de metal, se puede controlar la porosidad del medio filtrante metálico con considerable precisión.

Hojas Metálicas Perforadas

El uso de hojas metálicas perforadas como medio filtrante es de uso restringido, ya que los orificios generalmente no son más pequeños que 75 micras. Sin embargo, éstas hojas tienen una importante función en el campo de la filtración, ya que actúan como soportes de medios más finos. La aplicación de rayos láser permite actualmente la producción de perforaciones extremadamente finas.

Alambre Tejido

Se ha utilizado ampliamente durante muchos años y se encuentran disponibles en diferentes clases de metales.

Al fabricar una tela de alambre se tiene que hacer una elección entre utilizar un alambre fino para tener un tamaño mínimo de malla o utilizar un alambre más grueso que proporcione propiedades mecánicas como resistencia al esfuerzo y al uso.

Este material se encuentra en el mercado en un amplio rango de tamaño de apertura hasta por debajo de 5 micras.

PLASTICOS POROSOS

Hojas de Plástico

El rango de plásticos porosos y la variedad de formas que se encuentran disponibles está aumentando rápidamente. Los materiales de que se fabrican este tipo de hojas de plástico son PVC, poliuretano, polietileno y teflón, las formas van desde formas especiales rígidas hasta platos porosos, así como una variedad de hojas de naturaleza flexible con espesores de pulgada hasta milésimas de pulgada. El tamaño de poro varía desde grandes orificios hasta un tamaño de menos de una micra.

Los materiales se producen por medio de métodos de sinterizado y técnicas de espumado, teniendo como resultado que la estructura de los orificios individuales sea una fuente más de variaciones. Por ejemplo, es un tipo de espuma, los poros son, esencialmente continuos con canales sinuosos circundándolos a lo largo con paredes de plástico sólido. En contraste con la espuma Scott, las paredes entre los canales

adyacentes han formado una estructura con soporte o esqueleto, lo cual proporciona al material una gran porosidad.

Membranas

El tipo de plástico poroso es especial para utilizarse en el amplio rango de membranas disponibles ahora en pequeña y gran escala. Una membrana esencialmente es una película muy delgada con poros muy finos, el espesor de los grados comerciales va desde 150 micras hasta 0.2 micras. Las membranas de nitrato de celulosa primero fueron hechas para su uso en el laboratorio a mediados del siglo diecinueve. Actualmente se pueden encontrar otros materiales tales como: ésteres de celulosa, cloruro de polivinilo, polietileno y fluorocarbón, su uso se ha extendido a operaciones en gran escala como la esterilización de la cerveza.

III. FILTROS DE ARENA

III.1 DESCRIPCION

Las mallas separan los sólidos grandes en suspensión, y la sedimentación que sigue a la coagulación química, separa la mayor parte de la materia residual en suspensión. Sin embargo, generalmente permanecerán algunos flóculos finos y otra materia en suspensión. Para separarlos, reduciendo aún más el contenido de bacterias del agua, y para asegurar la producción de un agua clara, se utilizan filtros.

Los tipos de filtros empleados para este tipo de separaciones son los filtros de arena, los cuales consisten en un lecho de material granular para separar los sólidos en suspensión, con equipos para mantener un flujo uniforme a través del lecho y con dispositivos necesarios para invertir la dirección del flujo del agua periódicamente, para lavar el medio filtrante. En la práctica municipal del tratamiento de agua, se emplean casi exclusivamente filtros de arena, aunque algunas plantas utilizan antracita finamente dividida en vez de arena, para el medio filtrante.

Existen dos tipos generales de filtros de arena que se utilizan para la purificación del agua. Se clasifican como filtros de arena de acción lenta y filtros de arena de acción rápida. Difieren principalmente en la velocidad a la que operan, pero también tienen diferencias en teoría y su operación. A su vez, los filtros de arena se clasifican como filtros de gravedad y filtros de presión.

La tabla 3.1 proporciona una comparación entre los filtros de arena rápidos y los filtros de arena lentos considerando sus características comunes a ambos tipos de filtros.

TABLA 3.1
COMPARACION ENTRE FILTROS DE ARENA RAPIDOS Y LENTOS

Características	Filtro Lento			Filtro Rápido				
Flujo de	$m^3/m^2/día$	7.00	9.33	14.00	$m^3/m^2/día$	87.50	117.50	157.00
Filtración	Lt/seg/ m^2	0.081	0.108	0.162	Lt/seg/ m^2	1.01	1.36	2.03
Velocidad de Filtración	cm/seg	0.0081	0.0108	0.0162	cm/seg	0.101	0.136	0.203
Profundidad del lecho filtrante	30 cms. de grava 90 - 110 cms. de arena			30 - 40 cms. de grava 60 - 75 cms. de arena				
Drenaje	Tuberías de gres o cemento perforado			Tuberías metálicas perforadas o placas porosas, falsos fondos, etc.				
Lavado	Raspando la superficie de la arena hasta reducirla a 60 cms de altura			Invirtiendo el flujo a presión con agua proveniente de un tanque de lavado o una bomba. Requiere galería. Flujos de lavado 0.60-1.00 mts/min. o 0.6-1.0 $m^3/min/m^2$.				
Pérdida de Carga	de 16 cms. hasta 1.20 mts. máximo.			de 30 cms. hasta 2.70 mts. máximo.				
Tiempo entre Limpieza	20 - 30 - 60 días			24 - 48 - 72 horas				
Penetración del Fluido	Superficial			Profunda				
Cantidad de Agua usada en el Lavado	0.2 a 0.6% del agua filtrada			1 a 6% del agua filtrada				
Tratamiento Previo del agua	Ninguno o aireación (para vez floculación y sedimentación)			Floculación y Sedimentación				
Costo de Construcción	Más alto			Más bajo				
Costo de Operación	Más bajo			Más alto				
Area ocupada por los filtros	Más grande, aproximadamente 30 veces que la requerida para el filtro rápido			Mucho más pequeña				

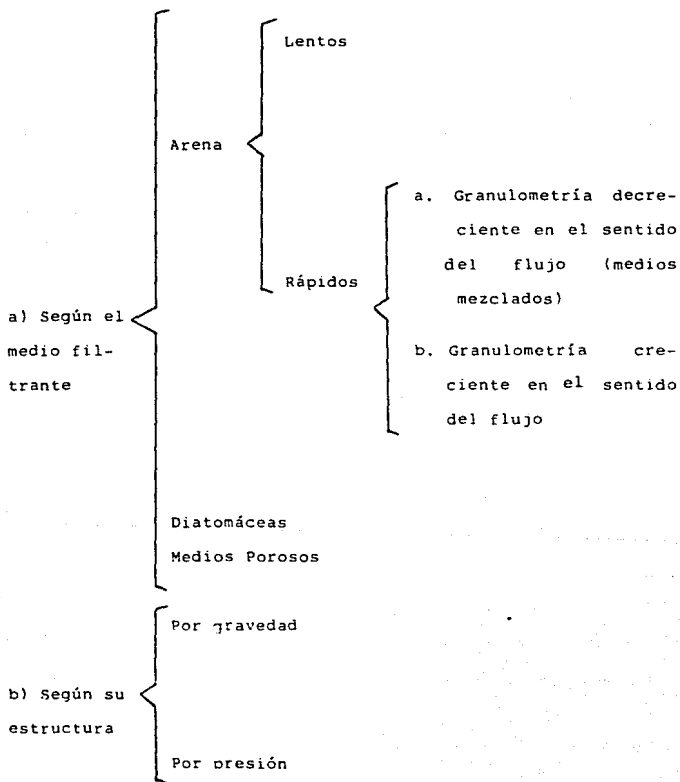
Con un tratamiento previo apropiado del agua, los filtros de arena de acción rápida son aplicables para el tratamiento de cualquier abastecimiento superficial. Estos filtros son efectivos aún en aguas altamente contaminadas. Sin embargo, cuando el promedio mensual de organismos coliformes en 100 ml. de agua cruda es mayor de 5,000, es necesario un tratamiento previo, como por ejemplo una presedimentación o precloración. Los filtros de arena de acción rápida también son efectivos en la eliminación de la turbidez, si la preparación del agua para filtración ha sido adecuada; a menos que se proporcione un tratamiento especial como precloración o con carbón activado, estos filtros no eliminarán generalmente sabores y olores.

Los filtros de arena de acción lenta normalmente no utilizan la coagulación para preparar el agua a filtrar. Por lo general, estos filtros se utilizan para aguas que son relativamente claras y que tienen un bajo contenido de bacterias o que se han clarificado por almacenamiento o sedimentación. En tales condiciones, se obtienen buenos resultados operando a velocidades de 4 a 7 mgd por acre. La eliminación de las bacterias es del orden del 98%. Los filtros de arena de acción lenta son eficaces en la eliminación de sabores y olores.

A continuación se describirán en forma más detallada la clasificación de los filtros de arena.

III.2 TIPOS DE FILTROS

Los filtros de arena se clasifican: a) según el medio filtrante que usen y b) según su estructura. El siguiente esquema muestra estos dos incisos.



En acueductos los filtros que se usan casi exclusivamente son los de arena por gravedad o por presión y en algunos casos los de medios mezclados por gravedad. En piscinas, industrias, etc., se utilizan los de diatomáceas y en algunos casos en plantas de tratamiento municipal, los de medios porosos son para uso doméstico y los hay de diversos tipos.

Los filtros de arena se pueden operar con una velocidad elevada (filtros rápidos) o con una velocidad lenta (filtros lentos). En el primer caso se lavan por inversión del flujo y en el segundo caso por raspado de la capa filtrante superficial.

FILTROS RAPIDOS DE ARENA POR GRAVEDAD

Ordinariamente en plantas de purificación, el tipo de filtros más usados y quizá el más recomendable, es el filtro rápido de arena por gravedad.

Este consta de un tanque rectangular de concreto de 3 a 4 metros de profundidad total, en el cual va un lecho de arena y grava, sobre un sistema de drenaje. Para operar el filtro se pone el agua en el tanque, se le deja pasar a través del lecho filtrante y se colecta en el drenaje, en donde por tuberías, va al tanque de almacenamiento y distribución. Después de un cierto número de horas el filtro se obstruye, por lo que es necesario invertir el flujo, esto es, se introduce agua a presión por los drenes y después colectándola en las canaletas de lavado en la parte de arriba para que la arena se expanda y el material que se haya acumulado entre

los granos sea expulsado. Después de esto se le adiciona o pone agua nuevamente al filtro y se le deja trabajar como al principio.

Las características más importantes de un filtro rápido son:

- El lecho filtrante
- La velocidad de filtración
- El lavado
- El sistema de drenaje
- El número de unidades y forma
- La galería del filtro y piso de operación

La figura 3.1 es una vista en sección fragmentada en forma transversal de un filtro de arena.

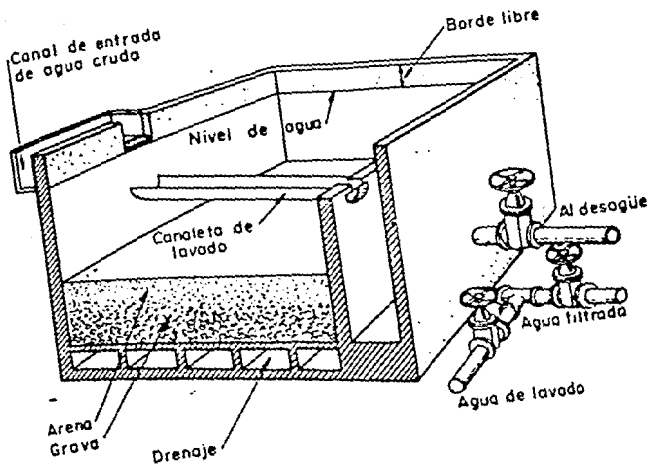


FIGURA 3.1

SECCION TRANSVERSAL DE UN FILTRO DE ARENA

Lecho Filtrante

El lecho filtrante es granular y está constituido por 0.25 a 0.40 metros de profundidad de grava y por 0.60 a 0.75 metros de arena.

El objeto del lecho de grava es el de repartir el flujo uniformemente en toda la masa del medio filtrante durante la operación del lavado y el de servir de soporte para el lecho e impedir que los granos de arena penetren en los drenes y los obstruyan durante la operación normal. Para esto es necesario que la grava quede bien gradada, de menor a mayor, de arriba hacia abajo. Generalmente se coloca en tres o cuatro capas de 10 cm. de espesor o más, dependiendo del tipo de dren que se use, las cuales constan de piedras de diferentes tamaños. Una distribución típica puede ser la siguiente:

<u>Capa</u>	<u>Profundidad</u>	<u>Dimensiones</u>
1	13 a 9 cm.	1 1/2" a 1" ó 1 1/2" a 3/4"
2	9 a 7 cm.	1" a 3/4" ó 3/4" a 3/8"
3	9 a 7 cm.	3/4" a 1/4" ó 3/8" a 3/16"
4	9 a 7 cm.	1/4" a 1/8" ó 3/16" a 3/32"
Total	40 a 30 cm.	

Para poder colocar las capas se procede a cernir la grava con tamices de los tamaños especificados. El material debe ser duro, preferiblemente con peso específico no menor de 2.600 Kgs/cm.

Análisis Granulométrico

La arena para los filtros se selecciona por medio de cernido en tamices calibrados. La serie estándar americana se presenta en la tabla 3.2

TABLA 3.2

SERIE AMERICANA DE TAMICES (U.S.)

No. de Serie (*)	Tamaño de Abertura		No. de Serie	Tamaño de Abertura	
	mm.	pulgadas		mm.	pulgadas
100	0.140	0.0059	8	2.38	0.0937
70	0.210	0.0083	6	3.36	0.132
50	0.297	0.0117	4	4.76	0.187
40	0.420	0.0165	1/4"	6.36	0.250
30	0.595	0.0234	3/8"	9.51	0.375
20	0.841	0.0331	1/2"	12.7	0.500
16	1.19	0.9469	3/4"	19.0	0.750
12	1.68	0.0661	1	25.4	1.00

(*) El número de serie corresponde aproximadamente al número de alambres de la malla por pulgada.

Para analizar la muestra se pesa una cantidad de ella, se cierne en tamices consecutivos y se va obteniendo el tanto por ciento total de peso retenido en cada tamiz. El resultado se gráfica en papel logarítmico como se indica en la

Figura 3.2, con el objeto de facilitar las interpolaciones.

Un ejemplo de análisis de arena se muestra en la Tabla 3.3.

TABLA 3.3
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE UNA MUESTRA DE ARENA

Malla No.	Tamaño (mm)	% en peso que pasa por cada Tamiz	% Acumulado
100	0.149	1.7	1.7
70	0.210	4.7	6.4
50	0.297	10.7	17.1
40	0.420	28.0	45.1
30	0.595	4.1	49.2
20	0.841	6.4	55.6
16	1.19	7.1	62.7
12	1.68	7.0	69.7
8	2.38	11.9	81.6
6	3.36	5.4	87.0
4	4.76	6.2	93.2
1/4"	6.36	6.8	100.0

A partir de los datos anteriores se ha obtenido la gráfica que se indica en la Figura 3.2.

La línea punteada indica arena analizada. Por lo general tal como se encuentra en su estado natural, ésta no tiene las características que se requieren para trabajar en un lecho filtrante. Por lo que se ha buscado cierta clase de parámetro que sirva de base de comparación entre diferentes tipos de arena. Allen Hazen sugirió que se tomaran en cuenta lo que él definió como "Coeficiente de Uniformidad y Diámetro o Tamaño Efectivo" pues había observado que la resistencia que ofrecen los medios filtrantes al paso del flujo permanecía aproximadamente constante, no importando la granulometría del lecho, cuando estos parámetros eran lo mismos.

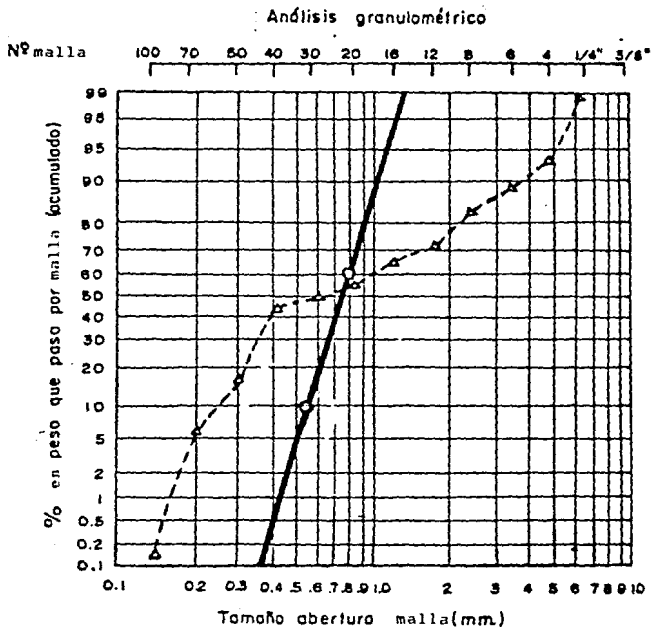


FIGURA 3.2.

GRAFICA QUE RELACIONA EL TAMAÑO DE ABERTURA DE LA MALLA CON EL % EN PESO QUE PASA POR UNA MALLA DETERMINADA Y CON EL # DE MALLA QUE RETIENE LOS SOLIDOS.

El coeficiente de uniformidad, el cual se le debería de llamar de desuniformidad, ya que su valor se incrementa a medida que la arena es menos uniforme, se calcula mediante la siguiente relación.

$$C_u = \frac{\text{Tamaño del tamiz que deja pasar el 60\% (mm)}}{\text{Tamaño del tamiz que deja pasar el 10\% (mm)}} \quad (3.1)$$

El diámetro efectivo (E) es el tamaño de la malla ideal que deja pasar el 10% de arena.

Por ejemplo, cuando se tiene un tamaño de tamiz de 1.0 que dejará pasar el 60% de la arena y un tamaño de tamiz de 0.25 que dejará pasar el 10% de la arena, se tiene un coeficiente de uniformidad igual con 4.0 y un diámetro efectivo igual a 0.25 mm.

Medios para Filtros Rápidos

El medio filtrante más usado en plantas de tratamiento de agua, es la arena homogenizada, dura, que no contenga más del 15% de calcio y magnesio en forma de CaCO_3 y que no pierda más del 20% de su peso durante la calcinación.

El tamaño tiene que ser tal que impida el paso del flóculo sin aumentar demasiado la pérdida de carga. La arena muy fina produce un efluente de buena calidad, pero acorta la "carrera" o el tiempo que el filtro puede operar sin que sea necesario lavarlo. La arena muy gruesa puede producir un efluente de baja calidad.

En el filtro convencional de arena que se ha utilizado en los últimos sesenta años en América, se especifica un coeficiente de uniformidad entre 1.25 y 1.75 y un tamaño de diámetro efectivo entre 0.4 y 0.55 mm.

Debido a lo anterior, la arena natural hay que adaptarla a estas condiciones. En el ejemplo anterior la arena analizada tenía un coeficiente de uniformidad igual a 4.0 y E igual a 0.25 mm, cuando que de acuerdo a la línea punteada, debería de tener un coeficiente de uniformidad igual a 1.45 y E igual a 0.55 mm lo que significa que el material analizado tiene demasiadas partículas finas y gruesas, las cuales deberán ser removidas mediante el lavado. Este suele hacerse en un tanque en el que se inyecta agua con flujo ascensional y en el que se puede regular la velocidad de asentamiento de las partículas más pequeñas que se quieren retener.

La arena así lavada y seleccionada, es la que se coloca sobre la grava del filtro y luego se desinfecta, por contacto con agua que contenga 50 mg/litro de cloro durante no menos de 24 horas. Después, utilizando el equipo de lavado del filtro, se expande el lecho ya colocado, varias veces. Estos primeros lavados sirven para botar por la canaleta los granos muy finos que aún hayan quedado y para estratificar todo el lecho según el diámetro y densidad de las partículas. Las más finas y menos pesadas quedan colocadas arriba y las más gruesas y pesadas abajo.

Esta distribución granulométrica que se produce en los filtros rápidos convencionales hace que sólo entren los primeros 5 y 15 cm sean los que trabajen y retengan el 98% de los sedimentos y coloides que contiene el efluente.

Sin embargo, tradicionalmente se han venido usando profundidades del lecho filtrante que varían entre 0.60 mts. y 0.75 mts., lo que hace que la mayor parte del lecho actúe sólo como estructura de soporte. Debido a esto, la capacidad de retención del flóculo entre los vacíos del medio puede considerarse escasa para los filtros convencionales.

Velocidades de Flujo

Para lechos de arena homogéneos, la velocidad de filtración más usada es la de 2 galones por minutos por pie cuadrado, lo que equivale aproximadamente a una velocidad de flujo de 0.136 cm/seg.

La máxima velocidad que se puede trabajar en un filtro está condicionada, por supuesto, no sólo por la calidad del agua que entra, sino por la carrera o período de trabajo. Las velocidades altas pueden colmatar el filtro tan rápidamente que será necesario lavarlo con demasiada frecuencia, lo que puede hacer antieconómica su operación, por el desperdicio de agua que produce. En general la velocidad óptima será aquella que permita la mejor calidad del efluente con la máxima economía en el uso del agua de lavado.

Hay que tener en cuenta que dicha velocidad óptima depende no sólo de la velocidad de filtración, sino de la profundidad de la penetración del flóculo. Entre más profundo penetre éste, mayor capacidad de almacenaje tendrá el medio filtrante y más larga será la carrera del filtro. La calidad del afluente (tamaño de las partículas, movilidad, turbiedad, pH, etc.) hará que el flóculo penetre más o menos, o se precipite en los primeros centímetros del lecho con lo cual la carrera del filtro se acorta.

Lavado del Filtro

El lavado del filtro es la operación por la cual se suspende el proceso de filtración y se inyecta agua por la parte de abajo del filtro (drenes) con presión adecuada, con el objeto de que el lecho filtrante se expanda, los granos se froten y desprenda todo el material que ha quedado retenido en la operación de filtrado.

Este proceso debe hacerse cada vez que la pérdida de carga sea igual a la presión estática sobre el lecho, o la calidad del filtrado disminuya. Si la pérdida de carga es mayor que H_g sobre un punto dado, se produce una carga negativa h_n (vacío) en el lecho, lo que hace que los granos trabajen a succión, y se compacten y se vuelva ineficiente el lavado. Cuando se opera durante cierto tiempo un filtro en estas condiciones, además de que la calidad del efluente se deteriora, el medio filtrante rápidamente queda inservible. Pueden

también desprenderse burbujas de aire lo que interfiere con la filtración. En la práctica el filtro se lava cuando la pérdida de carga llega a 1.80 - 2.40 mts.

Lo anterior se muestra en forma esquemática mediante la figura 3.3.



FIGURA 3.3

SECCION TRANSVERSAL DE UN FILTRO DE ARENA QUE ILUSTRAS LOS NIVELES QUE PERMITEN CUANTIFICAR LA CARGA ESTADICA DEL AGUA Y LOS LUGARES EN DONDE PODRIA EXISTIR UNA CARGA NEGATIVA.

Hidráulica del lavado

Al inyectar agua por el fondo en un medio granular, pueden ocurrir tres regímenes de flujo; a) si la velocidad ascensional del flujo de lavado es menor que la velocidad de asentamiento de las partículas del medio filtrante v_s , el lecho no se expande; b) cuando se sigue aumentando la velocidad de flujo hasta hacer v mayor que v_s el lecho se expande más y más y su porosidad aumenta proporcionalmente. La componente vertical de la velocidad de flujo entre las partículas, es mayor que la que existe encima del lecho; c) por último cuando la velocidad del flujo de lavado sobrepasa el valor v crítico, todo el lecho se "fluidiza" y los granos del medio son arrastrados por el agua en condiciones similares a la sedimentación.

En el caso a), figura 3,4, aunque el lecho no se expanda, la velocidad entre los granos aumenta hasta que la fuerza de arrastre del flujo sea mayor que el peso de la partícula; en ése momento queda suspendida la corriente ascendente. Si la velocidad de lavado sigue aumentando, la separación entre partículas se incrementa hasta que se rompe el equilibrio y los granos son arrastrados por el flujo.

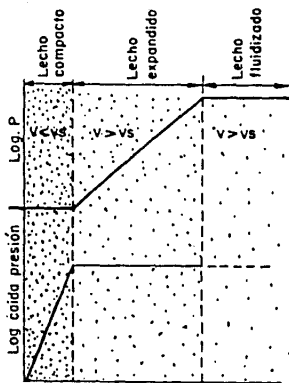


FIGURA 3.4

EFFECTO DE LA VELOCIDAD DE ASENTAMIENTO SOBRE EL LECHO DE UN FILTRO DE ARENA.

En forma similar a la estudiada para determinar la pérdida de carga inicial en el lecho filtrante se ha hallado que la pérdida de carga en la operación de lavado es igual a:

$$h_f = L_e (S_s - 1) (1 - p_e) \quad (3.2)$$

Por experimentos se ha determinado que:

$$p_e = \left[\frac{v}{v_s} \right]^{0.22} \quad (3.3)$$

y la velocidad de lavado:

$$v_s = \left[\frac{v}{p_e} \right]^{4.5} \quad (3.4)$$

por otra parte:

$$L_e = L \frac{1 - p}{1 - P_e} \quad (3.5)$$

L = Espesor del Lecho sin Expandir

$$h_f = L \frac{1 - p}{1 - (v/v_s)^{0.22}} (S_s - 1) \left[1 - (v/v_s)^{0.22} \right] \quad (3.6)$$

La expansión del lecho viene medida por:

$$\epsilon = \frac{L_e}{L} \quad (3.7)$$

En la práctica se usan expansiones entre el 30% y el 50% ($\epsilon = 1.30$ a 1.50). Conocidas las velocidades de lavado, éste valor se puede calcular así

$$\epsilon = (1 - p) \left[1 - (v/v_s)^{0.22} \right] \quad (3.8)$$

Las fórmulas anteriores son aplicables sólo a lechos compuestos de partículas de tamaño uniforme. Cuando éste no es el caso ϵ puede ser calculada así

$$\epsilon = (1-p) \sum_{i=1}^i \frac{x_i}{(1 - P_e)} = (1 - p) \sum_{i=1}^i \frac{x_i}{\left[1 - (v/v_s)^{0.22} \right]} \quad (3.9)$$

donde X_i = tanto por ciento de la arena retenida entre dos mallas consecutivas.

Recuérdese $v_s = \sqrt{4/3 \cdot g/C_D (S_s - 1)d}$ y por lo tanto la temperatura tiene influencia directa en el proceso de expansión. Entre más alta sea la temperatura del agua, más grande deberá ser la velocidad de lavado.

Canaletas de Lavado

El flujo que se inyecta por la parte inferior del filtro se recoge en la canaleta de manera uniforme y luego cae por gravedad al desagüe. Las secciones de las canaletas son muy variadas. Las metálicas suelen construirse con forma irregular, semi-circulares o rectangulares, las de concreto preferentemente son rectangulares con el fondo en V.

Para ayudar al transporte del material, se acostumbra dejar las canaletas con una pendiente en el fondo del 2% y el 5% hacia la boca de salida. La distancia entre canaletas adyacentes no debe ser mayor de 2.00 mts, con el objeto de obtener una velocidad de salida uniforme. Las alturas a la cuales deben colocarse, es un factor fundamental en la operación de los filtros. Si quedan demasiado bajas, al expandirse el lecho filtrante, sus capas superficiales pueden caer a ellas mezcladas con agua de lavado; y si quedan demasiado altas las impurezas pueden quedar retenidas. La altura debe

fijarse de tal manera que el borde de la canaleta quede por encima de la máxima elevación de la arena expandida durante el lavado.

El número y tamaño de las canaletas depende de la capacidad del filtro y de la velocidad del lavado que se quiere aplicar.

Las figuras 3.5 y 3.6 muestran esquemáticamente el lavado del filtro y las diferentes secciones de canaletas de lavado, respectivamente.

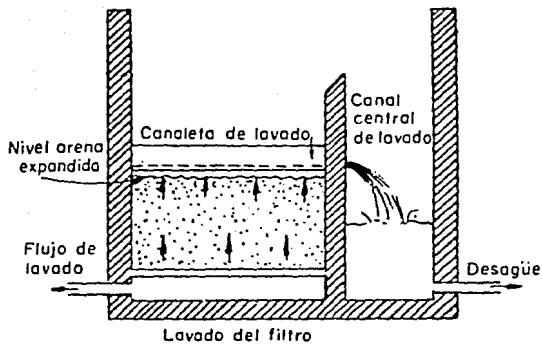


FIGURA 3.5

LAVADO TIPICO PARA UN FILTRO CON LECHO DE ARENA.

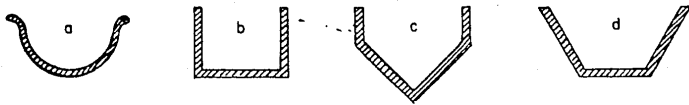


FIGURA 3.6

DIFERENTES SECCIONES DE CANALETA DE LAVADO PARA UN FILTRO
CON LECHO DE ARENA.

Sistemas de Lavado:

En cuestión de lavado de filtros, tradicionalmente se expande el lecho entre un 30% y un 50% con tendencia hacia éste último valor.

Hay que notar que la expansión exagerada de los granos de arena no beneficia el lavado, pues impide el roce o frotamiento de unos granos contra otros, evitando el desplazamiento de la partícula adherida a ellos durante el proceso de filtración. Por otra parte si la expansión no es suficiente, el flóculo retenido en el lecho no puede salir por entre los granos de arena y alcanzar la canaleta de lavado.

Para expansiones de un 50%, lechos de 60 cms. de profundidad, con estratificación convencional y coeficiente de uniformidad no mayor de 2.0 las velocidades de lavado pueden ser aproximadamente como se muestran en la tabla 3.4, tomadas del manual de la AWWA.

TABLA 3.4

Tamaño aproximado de la arena (mm)	cms/min	Velocidad de lavado en Lt/min/m ²	Lt/seg/m ²
0.25 - 0.35	61	610	10.2
0.35 - 0.65	76	760	12.7
0.65 - 0.95	89	890	14.7
0.95 - 1.35	100	1000	16.7

VELOCIDADES DE LAVADO TÍPICAS PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE PARTICULA QUE COMPONEN EL LECHO DE UN FILTRO.

Comparando las velocidades de lavado de la Tabla 3.4 con la normal de filtrado, se ve que varía entre 7.5 y 12.3 veces la velocidad de trabajo del filtro. Debe tenerse en cuenta el factor de temperatura. El agua que se usa en el lavado no debe ser mayor del 3% del total filtrado preferiblemente del 1%.

Cuando no se dispone de lavado superficial debe ayudarse con chorros de manguera de alta presión para romper más completamente la película de fango del lecho. Es conveniente expandir un 10% el medio filtrante antes de iniciar el lavado superficial.

El lavado se puede hacer: a) con agua filtrada proveniente de un tanque elevado; b) con agua inyectada por bombas que succionan del tanque de almacenamiento.

En el primer caso, debe construirse un tanque elevado que pueda estar: a) sobre una colina vecina, cuando la topografía lo permite; b) sobre estructuras metálicas; c) sobre el edificio mismo de la planta.

En cualquiera de los tres casos, el tanque puede ser metálico o de concreto reforzado. Lo más barato es construir tanques de concreto sobre colinas adyacentes cuando ésto sea factible. Hay que tener en cuenta que el sitio donde se construye el tanque de lavado, debe quedar lo más próximo posible a los filtros para evitar consumo exagerado en el transporte de agua, por lo que respecta a la energía.

La capacidad del tanque debe ser suficiente para lavar dos filtros en forma consecutiva, por un período de 5 a

7 minutos cada uno. Esto es, debe estimarse como el volumen total de agua el consumido en 10-40 min., de lavado de un filtro a la máxima velocidad especificada para el caso. Cuando se usa lavado superficial, hay que tener en cuenta también el consumo de agua producido por ésta operación.

La altura a la que hay que colocar el tanque sobre el nivel del lecho filtrante se suele calcular, teniendo en cuenta que descontadas todas las pérdidas de carga producidas por fricción en los tubos y accesorios que queden, desde el tanque hasta los drenes del filtro, la presión remanente a la entrada de éstos, no sea inferior a 5 mts. Cuando los drenes tienen formas geométricas conocidas que permitan el cálculo hidráulico de la pérdida de carga producida en ellas y se conocen las características de la arena, se puede colocar el tanque a una altura tal que el agua puede llegar hasta la canaleta de lavado.

Por lo general, el cálculo se hace al revés, partiendo de la cota de la canaleta de lavado, a la que se van sumando las pérdidas producidas por: 1) Lecho filtrante expandido; 2) Drenes; 3) Tuberías y Accesorios hasta el tanque; 4) Control del Lavado; 5) Entradas y Salidas.

Es necesario instalar un pequeño equipo de bombeo para poder mantener el tanque lleno. La capacidad del equipo debe ser la necesaria para llenar el tanque una vez cada 12 horas y preferiblemente una vez cada 76 horas.

Cuando se usa lavado con aire debe conseguirse

también un compresor con o sin tanque de almacenamiento. La capacidad debería ser suficiente para lavar un filtro durante no menos de 5 minutos con aire aplicado a las velocidades especificadas y a una presión un poco superior a la profundidad del agua sobre el sistema de distribución de aire más la fricción de las tuberías, cuando trabajan a velocidades de 10 m/s.

Si se lava por inyección directa con bombas, éstas suelen ser de gran capacidad y baja presión y no debe especificarse menos de dos unidades.

La carga hidráulica total de las bombas puede calcularse en la misma forma en que se calcula la altura del tanque de lavado. Las bombas toman el flujo del tanque de distribución, o de aguas claras.

Formas de Realizar el Lavado

Los filtros se controlan esencialmente con cuatro válvulas básicas:

1. Válvula del Afluente:

Con la cual se permite o no la entrada del agua en el filtro.

2. Válvula del Efluente:

Con la cual se abre o se cierra la salida del agua hacia el tanque de almacenamiento.

3. Válvula de Lavado:

Con la cual se hace entrar el agua de lavado al filtro.

4. Válvula de Drenaje:

Con la cual se conectan los drenes del filtro con el desagüe de la planta.

5. En algunos casos hay también:

Válvulas para el lavado superficial y válvula para el relavado, que sirve para unir el tubo del efluente con el drenaje, de forma que se pueda botar lo que se filtra inicialmente, después de cada lavado.

La operación de lavado se realiza en los siguientes pasos:

1. Cerrar la válvula del afluente al 100%.
2. Dejar la válvula del efluente abierta para que el agua del filtro baje hasta cerca de la superficie de la arena.
3. Abrir la válvula de drenaje al 100%.
4. Abrir la válvula de lavado gradualmente y la de lavado superficial cuando la haya. Esperar de uno a cinco minutos máximo, dejando entrar agua a la velocidad especificada para el filtro. Luego, cuando el agua sale relativamente limpia, proceder como se indica a continuación.
5. Cerrar la válvula de lavado ascendente y la del lavado superficial al 100% y esperar hasta que no caiga más agua en las canaletas. Luego,
6. Cerrar la válvula de drenaje.
7. Abrir la válvula del afluente 35 o 50%.
8. Si tiene válvula de relevado abrirla y permitir que el agua de la primera filtrada se vaya al desagüe.

9 Abrir la válvula del efluente 100% y complete la apertura de la del efluente al 100%.

Sistemas de Drenaje

El objeto de los drenes que se colocan en el fondo del filtro es doble:

1. Recolectar y extraer el agua filtrada.
2. Distribuir uniformemente el agua de lavado en el lecho filtrante. Cuando los drenes están mal diseñados, distribuyen desuniformemente el agua de lavado, desestratifican la arena y aún la grava, con graves consecuencias para el lecho filtrante.

Los sistemas de drenaje se pueden clasificar en tres tipos solamente:

1. Tuberías Perforadas

1a. Para trabajo con grava.

1b. Para trabajo con bloques y grava. (Bloques Wagner)

2. Falsos Fondos

2a. Tipo Weeler

2b. Tipo Leopold

2c. Boquillas

3. Placas Porosas

3a Bloques Carborundum

Aunque el cuadro anterior no incluye todos los sistemas, vamos a estudiar los enumerados por ser más representativos.

Tuberías Perforadas para Trabajo con Grava

Es el sistema más antiguo y más usado de drenaje de los filtros. En la actualidad está en desuso por los problemas de corrosión que presenta, consiste de una tubería principal de hierro fundido o galvanizado, de lado y lado, al cual se le soldan una serie de tubos laterales perforados.

La superficie total de los orificios debe ser del 0.2 al 0.33% del área filtrante y el diámetro de cada uno varía entre 6.5 y 12.5 mm., colocados a distancias entre 7.5 y 20 cms. unos de otros. La distancia entre laterales es de 15 a 20 cms. de centro a centro y las perforaciones forman 30° entre lado y lado de la vertical. La altura de los tubos sobre el fondo del filtro debe ser de 3.5 cms. La relación de longitud de los laterales a su diámetro no debe exceder de 60.

El inconveniente mayor de éste sistema es la corrosión cuando produce una apertura desigual de las perforaciones con el tiempo. Se han intentado fabricarlos de cemento con el borde de los orificios reforzados en cobre en un intento por resolver este problema.

En la figura 3.7 se ilustra esquemáticamente este tipo de tuberías.

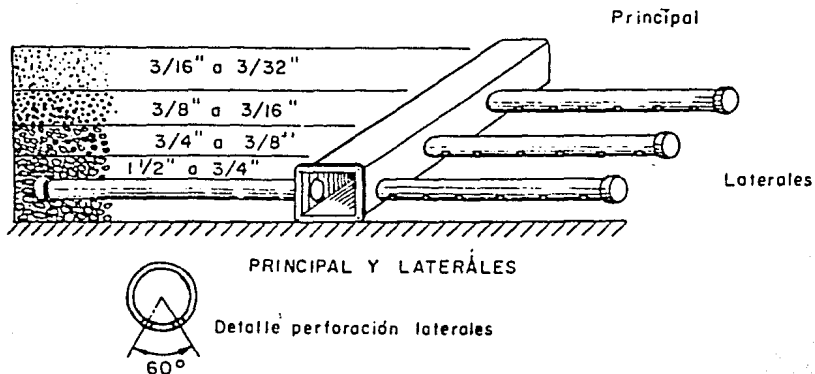


FIGURA 3.7

TUBERIAS PERFORADAS PARA TRABAJO CON GRAVA, UTILIZADAS
PARA EL DRENAJE DE UN FILTRO.

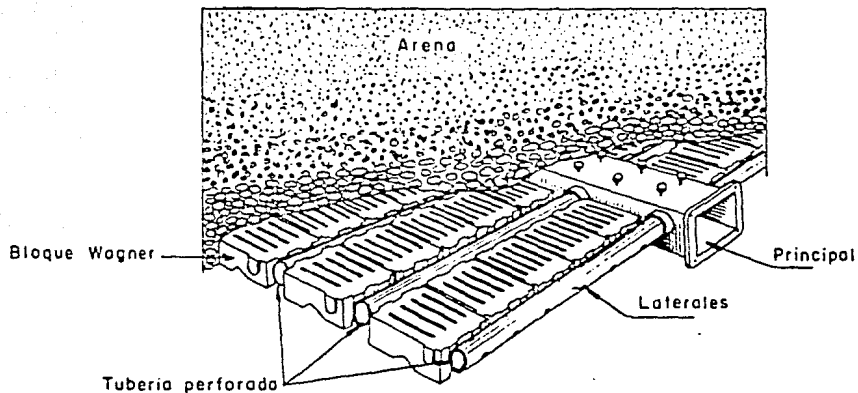
Tuberías Perforadas para Trabajos con Bloques y Grava

El más conocido de éstos sistemas es el producido por la compañía Infilco Inc., llamado bloque Wagner.

Este tipo de bloque es fabricado con concreto en varias dimensiones, para ser intercalados entre los laterales como se indica en la figura 3.8. El tamaño más pequeño es el de 10 3/8" X 9 5/8" que pesa 10 kilogramos por unidad. Se puede fundir en el sitio.

El objeto de los bloques Wagner es el de reemplazar el tipo de grava más gruesa (2" a 3/4") y producir una más eficiente distribución de los chorros de agua proveniente de los laterales durante el lavado.

En la figura 3.8 se ilustra esquemáticamente este tipo de tuberías.



FONDO DE TUBERIA CON BLOQUES WAGNER

FIGURA 3.5

TUBERIAS PERFORADAS PARA TRABAJO CON BLOQUES Y GRAVA,
UTILIZADAS PARA EL DRENAJE DE UN FILTRO.

Tipo Wheeler:

El fondo Wheeler es patente de la compañía Builder Providence Inc., y se ha venido instalando desde 1913. Consiste en una losa de concreto fundida a 10 - 50 cms. sobre el fondo del filtro, provista de orificios troncocónicos por donde pasa el agua. Existen dos tipos básicos: a) Con losas prefabricadas; b) Monolítico fundido en el sitio.

El primero consiste en losas prefabricadas de concreto de 0.60 X 0.60 y 0.10 mts. de espesor las cuales tienen 9 depresiones troncocónicas de 15 X 15 cms., en las cuales van colocadas 5 esferas de porcelana de 1 1/2" de diámetro. Requiere los cuatro lechos convencionales de grava. Las losas se pueden colocar sobre soportes de concreto anclados en ellas de 10 - 50 cms. de altura. La pérdida de carga en un lavado de 180 cm/min es de 60 cms. El segundo modelo para fundir en el sitio se hace con moldes suministrados por la compañía y es en todo semejante con el prefabricado, sólo que el espesor de la losa es de 7" (17.6 cms.) y las depresiones troncocónicas son de 0.224 X 0.224 mt. con 14 esferas de porcelana: 5 de 3" (7.5 cms.) y 8 de 1 1/2" (38 cms). La pérdida de carga que producen en el lavado es de 150 mts. a una velocidad de 100 cms./min.

En la figura 3.9 A y B se ilustra esquemáticamente este tipo de fondo para filtro.

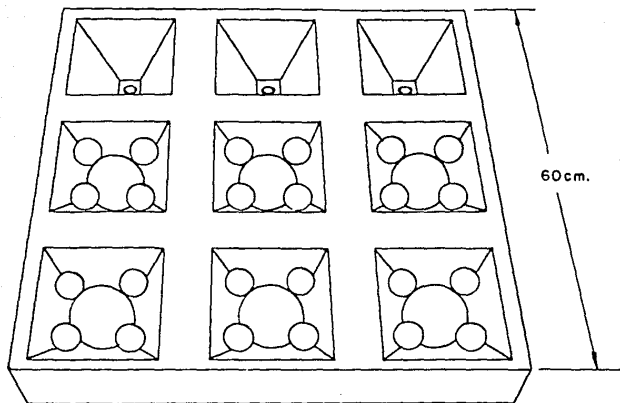


FIGURA 3.9 A
SECCION EN VISTA SUPERIOR DE UN FONDO PARA FILTRO TIPO WHEELER.

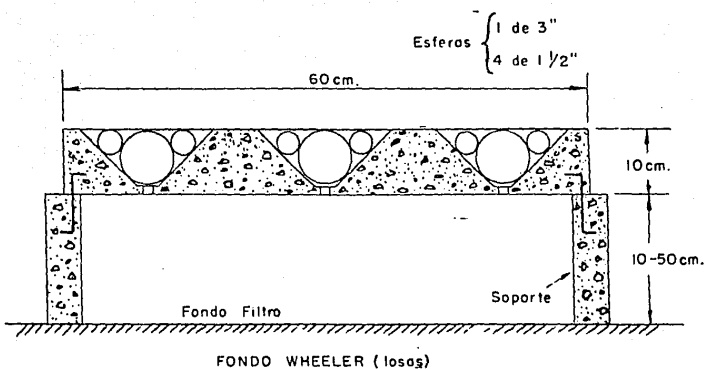


FIGURA 3.9 B

SECCION TRANSVERSAL DE UN FONDO PARA FILTRO TIPO WHEELER.

Tipo Leopold

Este fondo de filtro patentado por la Leopold Co., de Pittsburg de E.U.A., se ha vendido e instalado a partir de 1926. Consiste de bloques de arcilla vitrificada refractaria resistente a la corrosión, de 27.9 cms. de ancho que están divididos en dos compartimientos: el inferior que sirve de conducto de distribución similar al sistema de principal y laterales; y el superior que está comunicado con el de abajo por un hueco de 2.54 cms. de diámetro. En la cara queda en contacto la grava con 90 agujeros por bloque de 5/32" espaciados 3.1 cms. de centro a centro, que actúan a manera de criba para distribuir el agua en el lavado. Con éste tipo de drenes se puede disminuir el espesor de la grava dejando sólo los lechos más finos. Todas las filas de bloques se orientan a un conducto central de repartición. Los bloques se sientan sobre mortero. Al lado de cada fila se colocan cabillas dejando 1" de holgura alrededor de cada pieza. El espacio se rellena con concreto o mortero, para hacer las uniones.

Boquillas

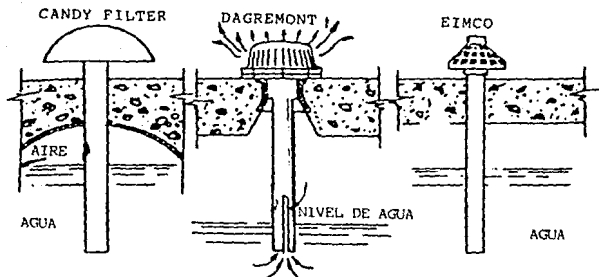
El sistema de boquillas consiste en fundir a 10 - 60 cms., sobre el fondo del filtro una losa perforada por boquillas, generalmente de plástico, como la que se muestra en la figura 3.8.

Se usan preferencialmente para lavado con aire y agua y son el sistema preferido por las compañías europeas.

El aire hace bajar el nivel del agua en el falso fondo o los laterales y puede así penetrar por el orificio o

ranura, dejado en el vástago. Cuando se lava con agua, la misma boquilla sirve para distribuir el flujo. Muchas boquillas son especialmente diseñadas para reducir o evitar los lechos de grava.

En la figura 3.10 se muestran esquemáticamente varios tipos de boquillas.



MODELOS DE BOQUILLAS

FIGURA 3.10

MODELOS DE BOQUILLAS PARA EL LAVADO
DEL FILTRO CON AIRE Y AGUA.

Placas Porosas

Las placas se pueden obtener en varias dimensiones (la más común es de 30 X 30 cms.) y se colocan sobre soportes metálicos o de concreto a una altura de 20 - 60 cms. Su uso permite no emplear grava de soporte. Su desventaja es que son quebradizas y sus poros en algunos casos se tapan con el tiempo.

Número de Unidades de Filtración y Forma

El número de unidades depende de la magnitud de la planta, pero nunca debe de ser menos de dos, para que esté funcionando una cuando la otra se lava.

Cuando el flujo por tratar es grande, el número de unidades de filtración se determina por consideraciones económicas. Lo más costoso de un filtro es el equipo no la estructura. Por tanto entre mayor sea el número de filtros, mayor será el costo del proceso de filtración y menor la capacidad del sistema de lavado. Sin embargo unidades muy grandes no son recomendables, desde el punto de vista operativo, pues si se tuviera que poner fuera de uso una de ellas, el gasto total dado por la planta sufriría una pérdida considerable. En la práctica, en muy pocas ocasiones se construyen filtros con capacidad mayor de 200 lt/seg. con el objeto de poder conseguir equipo estándar.

La profundidad de la caja del filtro debe de ser

lo necesaria para que contenga: a) el sistema de drenaje; b) el medio filtrante (grava y arena); c) la carga de agua sobre el medio filtrante; y d) el borde libre.

Generalmente el sistema de drenaje se puede acomodar en una altura que varía entre 10 a 50 cms., el medio filtrante entre 0.90 mts. a 1.15 mts., la carga de agua entre 1.00 - 2.00 mts. y el borde libre entre 0.50 y 1.00 mts. lo que dá profundidades totales para la caja que varían entre 2.50 y 4.65 mts.

Entre más hondo o profundo sea el filtro más costosa será la estructura, pero se puede poner una carga de agua mayor sobre el lecho, lo que permite una carrera más larga de filtración, sin que se produzca carga negativa en el medio filtrante. Deben, por tanto, equilibrarse estos dos aspectos.

Con capas sobre el filtro de 1.0 mts., por ejemplo, la pérdida de carga permisible entre lavados no podrá hacerse mayor de 1.20 - 1.50 mts. (sometiendo a succión parte del lecho). En cambio con cargas sobre la arena de 1.80 mts. se podrían permitir hasta 2.30 mts. de pérdida sin efectuarse el lavado lo que permitiría una carrera más larga.

La relación ancho o largo también debe estar sometida a consideraciones económicas para buscar la estructura de menos costo. Cuando se puede escoger libremente la relación ancho-largo, ésta puede estar entre 1.11 y 1.66 con la tendencia a 1.25 a 1.33.

Sin embargo, las dimensiones reales están limitadas por el sistema de drenaje que se usa.

Para drenes constituidos por tubería principal y lateral, las dimensiones a escoger se pueden hacer a voluntad. Para fondos Weeler (prefabricados) la longitud y el ancho deben ser múltiplos de 0.61 mts., para Weeler monolítico y placas porosas de 0.305; para fondos Leopold al ancho (no la longitud) en el sentido de los bloques debe ser múltiplo de 0.305 mts.; para boquillas según especificaciones de los fabricantes (generalmente quedan colocadas a 15 cms. centro a centro).

Galería de Filtro y Piso de Operación

Todo filtro tiene por lo menos uno de los lados descubierto junto al cual va la galería o pasadizo donde están colocados los tubos y válvulas. Esta galería debe de ser amplia e iluminada de tal manera que sea fácil revisar o reparar el equipo instalado ahí. Encima de la galería va el piso de operación donde se colocan los controles. En la galería debe de haber espacio, por lo menos, para los siguientes elementos:

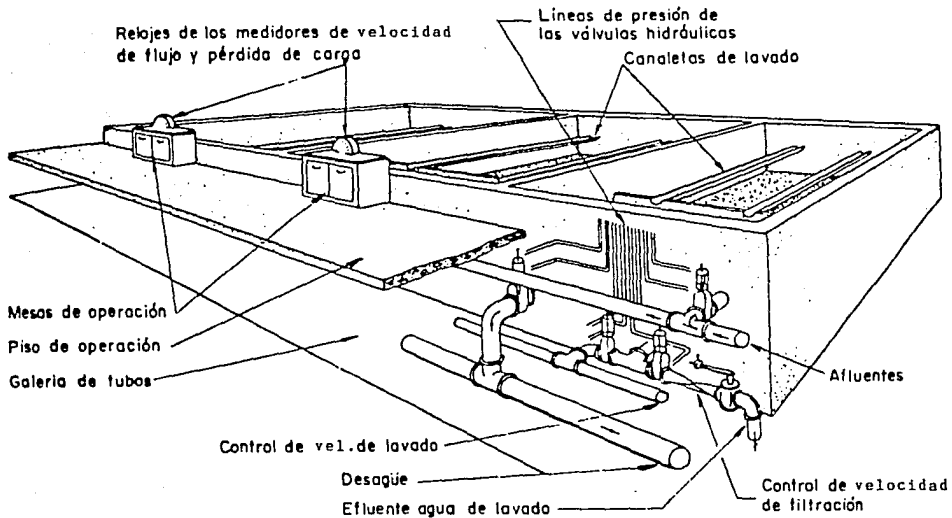
- a. Tubo del afluente con su válvula.
- b. Tubo del efluente, su válvula y el control de flujo de filtración.
- c. Tubo de Drenaje y su Válvula.
- d. Tubo de lavado, su válvula y el control de velocidad del lavado.
- e. Tuberías que conectan el efluente y el drenaje, para el relavado (si lo hay) y sus válvulas.
- f. Tuberías para el lavado superficial y su válvula.

En el mismo piso suelen ir instalados otros elementos, tales como bombas, compresores (cuando se hace el lavado por agua y aire) paneles de control, etc. según el espacio de que se disponga.

En el piso de operación (puede evitarse éste en plantas pequeñas), se colocan las mesas de los filtros y los registradores que indican el flujo del filtro, la expansión de la arena y la pérdida de carga y en algún lugar visible el registrador que indique el flujo de lavado. En plantas medianas se colocan sólo las ruedas de manejo de las válvulas y los medidores de pérdida de carga y lavado.

Para identificar mejor las diferentes tuberías, éstas pintan con pintura anticorrosiva de diferente color para cada línea.

En la figura 3.11 se ilustra esquemáticamente una representación de una batería de filtros.



BATERIA DE FILTROS EQUIPADOS CON LECHO DE ARENA.

FIGURA 3.11

Problemas de Operación

Los principales problemas que suelen enfrentarse en la operación de los filtros son:

- a. Bolas de Barro.
- b. Ruptura de los lechos filtrantes
- c. Cabeza Negativa
- d. Pérdida de Arena
- e. Desplazamiento de la arena

Bolas de Barro

Cuando un filtro ha sido operado durante largo tiempo y no ha sido lavado apropiadamente, el material de suspensión acarreado por el agua se amalgama con los granos de arena y forma bolas de barro. El tamaño de éstas varía entre 1 cm. y 5 cm., o más y su peso específico, generalmente es menor que el de la arena, por lo cual suelen acumularse tan sólo en las capas superficiales del filtro. Sin embargo no es raro encontrar algunas de ellas distribuidas en toda la masa del lecho filtrante y aún adheridas fuertemente a la grava, cuando la limpieza periódica ha sido deficiente. Tal cosa produce una distribución no uniforme del agua de lavado que hace cada vez más difícil la limpieza del filtro y por lo mismo más corto su tiempo de operación hasta llegar en casos graves a quedar el lecho completamente inservible.

El análisis periódico de la arena del filtro, es una práctica muy recomendable. Se hace introduciendo unos 15 cm.

en el lecho filtrante (cubierto sólo con 30 cm de agua) un cilindro de lámina de acero de 3" de diámetro tapándolo herméticamente en la parte superior y extrayéndolo para obtener una muestra de las capas superficiales. Algunos acostumbran sacar tres o cuatro muestras de cada filtro una o dos veces por año.

La arena así obtenida se coloca en el tamiz No. 8 o 10, el cual se introduce en el agua y con movimiento lento ascendente y descendente se consigue que toda la arena pase y queden sólo las bolas de barro.

Se determina luego cuidadosamente el volumen de la arena y el de las bolas de barro y se obtiene así el porcentaje de ellas existente en la muestra.

Según Baylis el Estado de conservación de los filtros puede clasificarse a este respecto en la siguiente forma:

<u>Calificación del Filtro</u>	<u>Porcentaje de Bolas de Barro</u>
Excelente	0.0 - 0.1
Muy Bueno	0.1 - 0.2
Bueno	0.2 - 0.5
Regular	0.5 - 1.0
Malo	2.5 - 5.0
Muy malo	< - 5.0
Pésimo	1.0 - 2.5

Para prevenir o eliminar las bolas de barro se pueden utilizar los siguientes procedimientos:

a. Mientras se mantiene agua de lavado a baja velocidad, se tamizan las capas superficiales del lecho filtrante con cribas o tamices de diámetro mayor que el de los granos de arena (por lo general se usa el de 1/4") y se extraen en esta forma las bolas de barro de las capa superficiales. Este procedimiento no elimina las bolas pequeñas.

b. Se hace un fuerte lavado superficial, con agua proveniente de mangueras o chorros a presión para producir una violenta agitación de la arena raspando al mismo tiempo la superficie con rastrillos metálicos, luego se lava el filtro vigorosamente.

c. Algunos operadores prefieren colocar una hélice en el extremo de un taladro corriente e introducirlo en la arena mientras se lava el filtro para producir una turbulencia considerable.

d. Se le puede hacer al filtro un tratamiento químico con sosa cáustica, cloro o sal común. La sosa se usa en solución del 1% o 2% disolviendo 5-10 kg. de dicha sustancia por cada m^2 de área filtrante cuando se ha dejado sólo unos 30 cm de capa de agua sobre ella. Se deja reposar la solución de sosa durante 12 horas y después se lava el filtro y se pone de nuevo en servicio. Este procedimiento es muy efectivo para reducir las partículas de flóculos y materia orgánica que se forman en los granos.

El poner cloro durante 24 horas en una cantidad de 200-300 mg/lt en el filtro, cuyo flujo se ha suspendido, puede ser muy conveniente para acabar con el crecimiento de algas y materia orgánica que obstruyen el lecho.

El cloruro de sodio al 2% también es útil para este propósito.

e. También puede picarse la superficie de la arena con un elemento punzante y lavar luego cuidadosamente el filtro.

f. Si ninguno de los métodos anteriores dá resultado habría que sacar toda la arena y aún la grava si fuera el caso, lavarla, tamizarla y volverla a poner, mezclándola con arena nueva.

Ruptura del Lecho Filtrante

Es un proceso similar al de las bolas de barro. El material gelatinoso acumulado a través del tiempo entre los granos de arena, forman una pasta con ellos, en el cual se abren grietas más ó menos profundas. Estas se producen al principio en la superficie pero a medida que el agua pasa a gran velocidad por ellas sin filtrarse, se van ensanchando más y haciéndose más profundas. Hay filtros en condiciones tales que prácticamente no hacen ningún trabajo de filtración.

Las rupturas del lecho filtrante se deben a un lavado deficiente y se corrigen siguiendo los procedimientos explicados en el punto anterior.

Carga Negativa

La carga negativa existe cuando la presión en el lecho filtrante es menor a la atmosférica o sea inferior a 1.032 kg/cm^2 . En estas condiciones el filtro queda sometido internamente a un vacío parcial y entonces el aire disuelto en el agua, que a temperatura y presión atmosférica normales alcanza hasta un 32% del volumen, se libera y queda retenido en forma de burbujas dentro de la arena, llenando los poros con lo cual el filtro pierde capacidad.

La manera de evitar este inconveniente es haciendo el lavado a tiempo. La mayoría de los filtros operan parcialmente con cargas negativas al final de sus carreras, sin producir mayores inconvenientes siempre y cuando ésta no sea grande.

Pérdida de Arena

Al observar el agua que se va al desagüe, proveniente del lavado, en algunos filtros se nota que contienen una cantidad mayor o menor de arena. Tal condición es siempre un defecto, pues la arena no debe perderse con el agua de lavado.

La causa de dicha dificultad se puede deber a: a) canaletas de lavado demasiado bajas; b) cambio de peso específico de la arena y c) excesiva expansión de la arena.

Estas causas se explican a continuación:

a) Cuando las pérdidas se deben a la primera causa, sólo se producen al principio cuando el filtro está relativamente nuevo. Posteriormente no tiene porqué perderse arena. La solución sería elevar las canaletas ya que la expansión menor del lecho puede ser perjudicial, si está por debajo de lo especificado.

b) El peso específico de la arena cambia cuando se adhiere a los granos material menos denso. Este caso es frecuente en especial cuando se procesa el agua para ablandarla con cal y sosa y la recarbonatación es incompleta por falta de suficiente bióxido de carbono o cuando se alcaliniza el agua antes de filtrarla. El carbonato de calcio se precipita y se adhiere a la arena fuertemente con lo que quedan entonces los granos más abultados. En estas condiciones la expansión del lecho es más grande.

No sería solución en este caso, disminuir la velocidad del agua de lavado para expandir menos el lecho filtrante, porque esto traería un lavado más deficiente que agravaría con el tiempo el problema. La solución, dada en el punto b) podría dar buenos resultados, siempre y cuando se remedie el aumento posterior de tamaño de la arena con una buena recarbonatación o impidiendo que la cal caiga en el lecho.

c) La expansión del lecho filtrante se ha dicho debe de ser entre 1.30 y 1.50. Por lo tanto es necesario mantener un control riguroso de ella para evitar velocidades excesivas y perjudiciales que pueden botar parte del medio filtrante.

Desplazamiento del Lecho

La resistencia que presente el lecho filtrante al paso del flujo no es igual en toda la superficie del filtro. En los lados junto a los muros por ejemplo, es mucho menor que en el centro y en las capas de encima es mayor que en las de abajo. Todo esto crea una serie de corrientes verticales y

horizontales que en algunos casos desestratifican la arena empujándola hacia arriba a lo largo de los muros.

En otros casos es la grava la que resulta desplazada cuando es demasiada fina y la distribución del agua de lavado no es uniforme. Los drenes mal diseñados son el principal factor en el desplazamiento del lecho. No siempre los sistemas de drenaje que se encuentran comúnmente, evitan problemas de este tipo, debe dársele cuidadosa consideración a la selección de los drenes del filtro.

Filtros de Arena Lentos

Los filtros de arena lentos son poco empleados en la actualidad. Sólo en instalaciones pequeñas suelen ocasionalmente usarse todavía.

Las diferencias con los filtros rápidos se describieron anteriormente.

El nombre de filtros lentos se debe a que en lugar de una velocidad de filtración de $117.50 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ es de apenas 7 a $14 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$. Por tanto, el área ocupada es grande, lo que resulta bastante inconveniente y costoso de construir.

El filtro lento consta de una caja de concreto con un lecho de arena no estratificado de unos 90-110 cm de profundidad. El lecho va colocado sobre unos 15 ó 30 cm de grava que sirve para impedir que pase el material fino a los drenes.

Estos suelen hacerse con simple tubería de arcilla vitrificada perforada.

El lavado se hace raspando la superficie del lecho filtrante cada 30 ó 60 días por capas de 5 a 10 cm cuando la pérdida de carga se aproxima a 1.20 cm.

La arena obtenida del raspado se limpia aparte y se guarda para cuando la profundidad del lecho llegue a 60 cm, momento en el cual se suspende la operación y se vuelve a colocar toda la arena que se sacó hasta completar la profundidad original del lecho.

Es evidente que los filtros lentos resultan más sencillos de manejar que los rápidos. Su misma construcción es más simple ya que pueden estar completamente enterrados, sin galería adicional, sin mesa de operación y con sólo dos válvulas, una influente para admitir el agua y otra efluente para abrir o cerrar el flujo en los drenes.

La velocidad de filtración se controla intercalando en el tubo del efluente un aparato del mismo tipo a los descritos para los filtros rápidos. La altura del agua sobre el lecho filtrante es de 1.00 m, se regula con una válvula de flotador, un vertedero de excesos o cualquier otro sistema similar.

El filtro lento en sí, dá una purificación mucho más completa que el filtro rápido desde el punto de vista bacteriológico. Es de esperar una reducción de 93 a 99% de la cuenta bacterial. Aún así el efluente por mayor seguridad debe desinfectarse. En muchos casos resulta muy efectivo para la remoción del mal sabor y olor en el agua.

III.3. DISEÑO

El tamaño de una unidad de filtración está determinado por la capacidad necesaria de la planta, el número de unidades que se crean necesarias para una operación flexible, y el número de horas por día que trabajará la planta. El último factor es de índole económico, ya que se debe comparar el costo de almacenamiento contra el gasto adicional de construir una planta mayor y de una nueva operación de 16 ó 24 horas en lugar de 8 horas. Frecuentemente, la capacidad del pozo de aguas claras, que es el almacenamiento de la planta, no excede de un tercio a un medio de la capacidad diaria de la planta. Por lo tanto, se necesita un almacenamiento de distribución para proporcionar agua durante los períodos en que la planta no trabaje. Las plantas grandes generalmente trabajan 24 horas por día; las pequeñas, de 8 a 12 ó 16 horas. En las plantas grandes, cada unidad de filtración tiene una capacidad de 1 a 3 mgd; las dimensiones para una unidad con capacidad de 1 mgd normalmente son de 18 por 20 pies. Las unidades de las plantas pequeñas varían en tamaño de 9 por 10 pies a 10 por 18 pies. Una unidad de 9 por 10 pies filtrará 250 000 gal en 24 horas o unos 83 000 gal en 8 horas.

III.3. CRITERIOS DE DISEÑO DE FILTROS RAPIDOS MODIFICADOS

GEOMETRIA DE LOS FILTROS

Area total de filtración, la cual se establece por medio de:

$$A_t = \frac{Q}{V_f} \quad (3.10)$$

La velocidad media de filtración se establece según los siguientes criterios

Mínima:	80	M ³ /M ² /día
Normal:	180 - 240	
Máxima:	240 - 360 - 480	

$360 < V < 600$ (KAWAKURA) con uso de ayudantes de filtración.

Dimensiones de los filtros

Número de filtros

El número de filtros (N) se establece siguiendo los siguientes criterios:

a. En función de las velocidades del filtro.

$$N = \frac{v_1}{v_f} \quad (3.11) \quad \text{Y siempre } N \geq 4 \text{ ó preferentemente } N \neq 6$$

b. En función del caudal filtrado

$$N = 0.044 \sqrt{Q} \quad (3.12)$$

o también utilizando el siguiente criterio:

Q (L/S)	N
250	4
500	6
1,000	8
1,500	10
2,000	14

C. Estableciendo el área de cada filtro en función de su costo, utilizando los siguientes criterios:

Filtros Simples	$A < 70 \text{ m}^2$
Filtros Dobles	$A > 40 \text{ m}^2$
	y un área máxima de 170 m^2

Siendo:

$$N = \frac{A_t}{A} \quad (3.13)$$

Dimensiones de los Filtros

La relación del ancho del filtro "B" (M) y su longitud "L" (M) es usualmente:

$$3 < \frac{L}{B} < 6 \quad (3.14)$$

o también en función del número de filtros:

$$\frac{B}{L} = \frac{N + 1}{2N} \quad (3.15)$$

Para una fila de filtros:

$$\frac{L}{B} = \frac{N C_1 + 2N C_2}{(N+1) C_2} \quad (3.16)$$

Para dos filas de filtros:

$$\frac{L}{B} = \frac{N C_1 + 4N C_2}{2(N + 2) C_2} \quad (3.17)$$

2. Medios Filtrantes

A. La selección del medio filtrante deberá basarse primeramente en el grado de purificación requerida y las carreras del filtro.

En la tabla 3.5 que se muestra a continuación, se dan las características de la arena y la antracita, que son los materiales más utilizados comunmente.

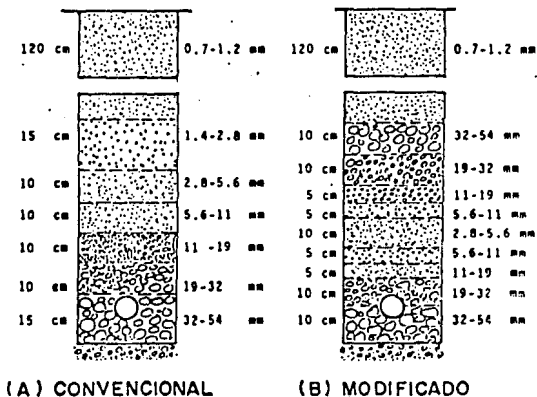
TABLA 3.5

CARACTERISTICAS DE LA ARENA Y LA ANTRACITA
UTILIZADAS COMO MEDIOS DE FILTRACION

Material	Altura (cm)		ϕ_E (mm)		C_U		Densidad	
	Máx.	Usual	Máx.	Usual	Máx.	Usual	Máx.	Usual
Antracita	45-50	45	.80-1.40	.80-1.0	1.8	1.5	1.65	1.40
Arena	15-45	15-30	.45-0.60	.50-60	1.3-1.7	1.5-1.7	2.65	2.60

Capas de Grava de Soporte

Para drenaje de tuberías se pueden utilizar las siguientes opciones, en forma preferente la alternativa (B):



CAPAS DE GRAVA DE
SOPORTE TÍPICAS

A continuación en la Tabla 3.6, se detallan las características de medios triples en función de las diversas clases de flóculos existentes en el agua a filtrar:

TABLA 3.6

APLICACION	MATERIAL PESADO		ARENA		ANTRACITA		OBSERVACIONES	
	TAMARO *	PROF. CM	TAMARO	PROF. CM	TAMARO	PROF. CM	GRADIENTE DE FLOCULACION	EFICIENCIA DE SEDIMENTACION
CARGA PESADA DE FLOCULOS FRAGILES	-40+80	20	-20+80	30	-10+20	55	BAJO	REGULAR
CARGA MODERADA DE FLOCULOS FRAGILES	-20+40	7.5	-10+20	30	-10+16	37.5	BAJO	BUENA
CARGA MODERADA DE FLOCULOS FUERTES	-40+80	7.5	-20+40	22.5	-10+20	20	ALTO	BUENA

* - 40 - 80 pasa por el tamiz (us) no. 40 y es retenido en el tamiz no. 80

Para falsos fondos de arcilla se sugiere la siguiente distribución

CAPA	ESPEJOR (cm)	TAMAÑO (pulg.)
Inferior	5	1/2 - 3/4
Media	5	1/4 - 1/2
Superior	5	2/8 - 1/4

Para fondos Wheeler se sugiere utilizar la siguiente capa de soporte de grava;

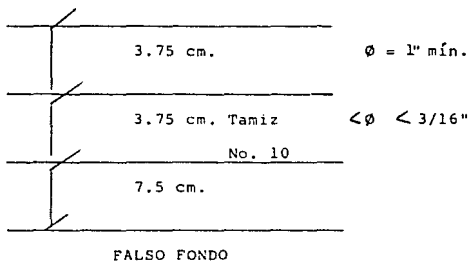
CAPA	ESPEJOR (cm)	TAMAÑO (pulg.)
1 (inferior)	*	1 - 1 1/4
2	7.5	5/8 - 1
3	7.5	3/8 - 5/8
4 (superior)	7.5	3/16 - 3/8

* El espesor necesario para cubrir el sistema de drenaje.

El uso de capas de material granular de alta densidad (granate, ilmenita, etc.) elimina el problema del movimiento de la grava fina y de arena, para ello debe de cumplirse con las siguientes especificaciones:

Densidad > 4.20 (tamaño y altura, los indicados a continuación)

108.



En general, es recomendable utilizar capas de soporte de grava o colocar directamente la arena sobre el falso fondo.

Para fondos prefabricados de concreto se sugiere la siguiente capa de soporte:

<u>PROFUNDIDAD (cm)</u>	<u>TAMA\u00d1O DE LA GRAVA (pulg.)</u>
7.5	3/12 - 3/16
7.5	3/16 - 1/2
7.5	1/2 - 3/4
7.5	3/4 - 1 1/2

IV. ANALISIS DEL SISTEMA OPERATIVO DE LA PLANTA
POTABILIZADORA DE LA COLONIA AGRICOLA ORIENTAL

IV.1. ANTECEDENTES

Debido a la demanda de una zona urbana e industrial creciente, el Departamento del Distrito Federal decidió construir en 1961 una planta para la obtención de agua potable en la zona oriente de la Ciudad de México, que satisficiera la demanda de agua potable de la población que empezaba a poblar la zona y que no podía ser distribuída en forma directa es decir del subsuelo a la población, ya que después de algunos estudios realizados, había demostrado tener una dureza elevada y una fuerte coloración desagradable, por lo que no cumplía con las normas mínimas de la Dirección de Aguas y Saneamiento, para su consumo.

La planta fué diseñada para tratar 325 lt/seg de agua pero debido a la gran demanda y tomando en cuenta los años en operación y el gran desgaste que se ha ocasionado al subsuelo por la extracción de agua de que ha sido objeto, se fué reduciendo el gasto de agua extraída hasta llegar a 150 lt/seg. que es la cantidad de flujo actual que esta manejando la planta.

Actualmente la planta beneficia a un total de 150 mil habitantes, los cuales se cree que cada uno consume una cantidad aproximada de 100 lt/día. Las colonias beneficiadas hoy en día son la Agrícola Oriental, Ejidos del Moral, Ortiz Tirado y la Rodeo.

IV.2 SISTEMA OPERATIVO ACTUAL DE LA PLANTA

En el presente trabajo el Sistema Operativo de la Planta se refiere a las condiciones actuales en las que se encuentra trabajando la misma.

En el diagrama de flujo de proceso adjunto al final del capítulo, se muestran los equipos principales del sistema para la obtención y distribución del agua potable para la planta potabilizadora Agrícola Oriental. La planta obtiene el agua de una fuente subterránea, que se encuentra localizada en el Cerro de la Estrella. El agua es recibida en tres estaciones de rebombeo (bombas 2, 4 y 5) las cuales alimentan el agua a la Planta Potabilizadora.

En este punto, es conveniente mencionar que la planta fué proyectada para que trabajara con 5 estaciones de rebombeo, pero debido a las condiciones que ha venido presentando el subsuelo a lo largo de los años, se retiraron del servicio las estaciones 1 y 3, por la gran cantidad de contaminantes y turbiedad que presenta el agua.

Una visita de inspección en abril de 1990, reveló que en ocasiones sólo se trabajaba con 1 ó 2 bombas debido al mal funcionamiento de las bombas y motores. Algunos de los problemas del equipo se deben en parte al suministro eléctrico intermitente, al servicio de mantenimiento que es sólo correctivo y no preventivo, es decir, sólo se arregla el equipo cuando se descompone, y al reemplazo de las piezas dañadas de las bombas e incluso de las mismas bombas, las cuales al parecer no han sido cambiadas o modernizadas desde que se

instalaron para su operación. En consecuencia, con frecuencia los pozos están fuera de servicio durante hora o días.

Al igual que las bombas mencionadas anteriormente, existe en la planta mucho equipo que está fuera de servicio debido a que no recibió, en su momento, el mantenimiento adecuado, por ejemplo los manómetros para el control del retrolavado de los filtros de arena así como los indicadores de la pérdida de carga hidrostática de los mismos.

IV.2.1. ANALISIS FISICO-QUIMICO DEL AGUA.

La planta cuenta con un pequeño laboratorio en donde se realiza el análisis físicoquímico del agua, el cual consiste en la medición de las siguientes variables: temperatura, pH, color, turbiedad, alcalinidad total, dureza total, cloruros y cloro residual. El análisis de organismos vivos como bacterias o materia orgánica, lo realiza periódicamente los laboratorios de Xotepingo dependientes del Departamento del Distrito Federal, ya que en la planta no se cuenta con el equipo necesario para llevar a cabo dichas pruebas.

Los procedimientos para llevar a cabo las pruebas son los siguientes:

MEDICIONES DE TEMPERATURA, pH, COLOR Y TURBIEDAD

Estas mediciones se llevan a cabo en equipo estándar conocido, de acuerdo al tipo de prueba, y con los procedimientos adecuados para cada aparato.

ALCALINIDAD TOTAL (como CaCO_3)

Se llena una bureta con una solución de H_2SO_4 al 0.02

COLORO RESIDUAL

Se llena una celda de un aparato para tomar mediciones de cloro con el agua muestreada y 3 gotas de orthotolidina preparada previamente. Se coloca la celda en su ubicación destinada en el aparato y por medio de una escala móvil de diversos tonos de color se indica la concentración del cloro. La gama permisible es de 1 a 2 ppm.

ANALISIS BACTERIOLOGICO DEL AGUA

Ciertas bacterias permiten conocer la calidad del agua siempre y cuando su presencia sea consecuencia exclusiva de la contaminación fecal. Lo ideal sería que el indicador bacteriológico pudiera distinguirse con facilidad entre las bacterias nativas de agua y que sobreviviese un poco más que los agentes patógenos asociados. De las bacterias asociadas a las heces, los bacilos coliformes constituyen un mayor número, mientras que *S. faecalis* y *C. perfringens*, aunque siempre están presentes, son menos numerosas. Parece, por tanto, que cualquiera de estos microorganismos podría usarse como indicador de la contaminación. Los bacilos coliformes se usan casi exclusivamente en Estados Unidos y tanto *S. faecalis* como *C. perfringens*, se han empleado en Europa; sin embargo, a veces es más difícil diferenciar los estreptococos. *C. perfringens*, tiene la desventaja de que sus esporas son viables por mucho tiempo, en contraste con los bacilos coliformes que, aunque son más resistentes que el tífico, mueren con el tiempo; por tal , el uso de *C. perfringens* no permite diferenciar una contaminación reciente de una antigua.

N. Se toma una muestra de 50 ml del agua y se le agregan 3 gotas de fenolftaleína y 3 gotas de anaranjado de metilo. Se titula con H_2SO_4 . La solución adquiere una coloración naranja y durante la titulación dá un vire a color canela. Existe una regla de correspondencia y de acuerdo con el catálogo de fabricante, cada ml. de H_2SO_4 gastado corresponde a 20 mg/lt de alcalinidad como $CaCO_3$. La gama de permisibilidad es de 300 a 400 mg/lt.

DUREZA TOTAL COMO $CaCO_3$

Se llena una bureta con una solución de EDTA (4g de EDTA aforando con agua destilada en un matraz de un litro). Se toma una mezcla de agua de 50 ml y se le agrega 1 ml de solución amortiguadora y 3 gotas de ericromo negro T. Se titula con el EDTA. La solución adquiere una coloración violeta y durante la titulación dá un vire a azul marino. La gama de permisibilidad es de 250 a 300 mg/lt.

CLORUROS

Se llena una bureta con una solución de nitrato de plata 0.02 N. Se toma una muestra de agua de 50 ml y se le agregan 10 ml de dicromato de potasio. Se titula con el nitrato de plata. La solución adquiere una coloración amarilla y durante la titulación dá un vire a amarillo ocre. La gama de permisibilidad es de 60 a 95 ppm.

El examen bacteriológico del agua para buscar bacilos coliformes se apoya en el hecho de que este microorganismo fermenta la lactosa. La técnica estandarizada para el examen ha sido establecida por la Asociación Estadounidense de Sanidad Pública y la Asociación Estadounidense de trabajos sobre el Agua, y se revisa periódicamente. En resumen, incluye tres partes: 1) la prueba de presunción; 2) la prueba de confirmación, y 3) la prueba completa.

En la primera, se inocula un caldo de lactosa o de lauril con diluciones decimales de la muestra de agua comúnmente 10 ml, 1 ml y 0.1 ml (expresados en diluciones son 0.1, 1 y 10 respectivamente). El volumen menor de inóculo que produce fermentación proporciona una indicación aproximada de la cantidad de bacilos coliformes que contiene el agua. De los medios enriquecidos selectivos que contienen bilis de buey, verde brillante o ambos, o ricinoleato o sulfato de laurilo, sólo el caldo de lauril triptosa se ha aceptado oficialmente para la prueba de presunción. Puede obtenerse un cálculo más preciso inoculando cinco tubos con cada dilución y calculando el número más probable (NMP) de bacilos coliformes en base al número de tubos donde hubo fermentación.

La prueba confirmada consiste en inocular caldo de bilis verde brillante y lactosa con material de los tubos de fermentación primaria que muestra fermentación de lactosa (prueba de presunción positiva). La aparición de fermentación en este caldo selectivo constituye una prueba positiva confirmada.

En la prueba completa, se siembran placas con medio Endo o EMB de los tubos de caldo con prueba positiva confirmada. Las colonias típicas coliformes se transfieren entonces a caldo de lactosa o lauril triptosa y a una superficie inclinada de nutriente de agar. Después de la incubación, se toma un frotis del cultivo inclinado, se tiñe y examina en busca de bacilos gramnegativos, no formadores de esporas de bacilos coliformes. Si el cultivo morfológicamente corresponde a ellos, y se fermenta la lactosa, la prueba completa es positiva.

Procedimiento de la membrana filtrante. Este método de contar bacterias en el agua y en otros líquidos con fines especiales, como cultivo cuantitativo de sangre, fue introducido por Goetz en Alemania en 1947, y luego se estudió con mayor amplitud en Estados Unidos. Suelen tomarse como indicador microbiano de contaminación de agua los bacilos coliformes, pero también pueden contarse los enterococos.

La prueba de filtro de membrana se compone esencialmente de: 1) filtración de una muestra de agua por presión negativa a través de un disco de celulosa de porosidad suficientemente pequeña para que puedan retenerse las bacterias; 2) transferencia del disco de filtración a una almohadilla absorbente que contenga un medio diferencial líquido, como el medio Endo en el caso de bacilos coliformes, y 3) incubación. Las colonias bacterianas crecen en la superficie del disco de filtración y posteriormente se efectúa un conteo de las mismas.

El volumen de agua que se muestrea por este procedimiento depende del grado de contaminación esperado y también del contenido de sustancias que interfieran, como las algas. En el caso del agua potable o terminada, pueden analizarse muestras de hasta 500 ml, pero cuando el agua está muy contaminada deben emplearse muestras menores de 0.1 ml. El disco de filtración, una vez cargado se retira después de la filtración y se frota sobre una almohadilla absorbente saturada con medio diferencial en una caja de petri esterilizada. La membrana se incuba durante dos horas y después se transfiere a una almohadilla nueva saturada con el medio nutritivo, y se incuba toda la noche, entonces, se cuentan las colonias.

Las cifras de coliformes que se obtienen en esta prueba son algo menores que las estimadas con el método de NMP. Se ha reportado que el método NMP da resultado 20 a 25 por 100 más altos que la densidad real de coliformes. No se ha establecido con claridad si los métodos no miden a los mismos microorganismos o si la diferencia se debe a prejuicio matemático en el método NMP.

Las colonias de la prueba de filtración de membrana pueden analizarse también para verificar la presencia de bacilos gramnegativos, que no forman esporas y producen el gas en los tubos de fermentación de lactosa.

El indicador microbiano. Es evidente que un buen indicador de la contaminación debe persistir cuando menos tanto, y de preferencia más, que los microorganismos patógenos que pueden acompañarlo. Todos los microorganismos usados

bacilos coliformes, enterococos y *C. perfringens*- persisten más que los bacilos patógenos intestinales, como el bacilo tífico; en algunas circunstancias, los primeros pueden mostrar incluso una multiplicación pasajera. El tiempo de supervivencia de los virus intestinales es semejante al de las bacterias patógenas, pero cuando menos algunos, como los Coxsackie, pueden persistir más que los bacilos coliformes a temperaturas bajas (8 a 10°C), y estos y otros virus como los de poliomiелitis resisten más la cloración que los bacilos coliformes. Por consiguiente, en aguas tratadas, los recuentos de coliformes pueden reducirse a niveles "aceptables" pero quizá persistan algunos virus intestinales.

La significación de la contaminación por virus de las aguas potables sigue siendo poco conocida. Algunos enterovirus, por lo menos, son infecciosos por vía bucal, según lo demuestra la inmunización eficaz por vía bucal con poliovirus atenuados; pero es otro problema saber si el grado observado de contaminación del agua por virus es de magnitud suficiente para que se ingiera una dosis infecciosa. Por ejemplo, la hepatitis por virus se presenta mucho más frecuentemente al ingerir mariscos contaminados que tienen concentrado el agente infeccioso procedente de agua infectada, y parece que no se han observado epidemias hídricas de enfermedades causadas por virus comparables con las de la fiebre tifoidea. De todas maneras, tiene mucha importancia e interés el problema de la significación práctica de la contaminación de las

aguas potables por virus patógenos para el hombre.

Como algunos virus pueden sobrevivir más tiempo que los coliformes, sería de gran utilidad detectar los virus en el agua por métodos directos rápidos. Las investigaciones en tecnología de filtros de membrana de alta capacidad han hecho posibles dichos métodos. Pueden filtrarse volúmenes de hasta 1 900 litros de agua para detectar virus por conteos de placa en cultivos con los tejidos apropiados, o mediante técnicas de fluorescencia de anticuerpos. Se ha reportado que los métodos de este tipo permiten detectar poliovirus con elevada confiabilidad cuando hay tres o más partículas virales en volúmenes de hasta 380 litros, siempre y cuando se procesen 1 900 litros de agua.

Se ha usado antes, deliberadamente el término amplio e inclusivo de bacilos coliformes. Se trata de un grupo heterogéneo, dentro del gran grupo de bacilos intestinales gramnegativos. Los que fermentan la lactosa rápidamente son los microorganismos que se encuentran en las pruebas anteriores para contaminación fecal e incluyen los tipos coli y aerógeno, junto con formas intermedias. Estas corresponden a diferentes géneros, por ejemplo *Escherichia coli* y *Klebsiella aerogenes* en Estados Unidos, y el género *Bacterium* en todas partes.

En general, la falta de medios específicos de cultivo para descubrir y contar los enterococos ha sido una dificultad práctica, y se han desarrollado varios medios de

cultivo relativamente satisfactorios. Estos medios se han hecho selectivos, añadiéndoles ácido sódico y se hacen diferenciales con colorantes como el violeta de etilo o cloruro de trifeniltetrazolio. Los enterococos tienen tendencia a persistir más tiempo que las bacterias intestinales patógenas, pero no tanto como los coliformes, y suelen encontrarse en número considerablemente menor que los colibacilos.

Recuento en placas. Suele ser conveniente tener una medida aproximada del número total de bacterias que hay en el agua que se bebe, no porque pueda juzgarse con este solo dato la calidad sanitaria del agua, sino porque esa información con frecuencia posee valor auxiliar. Los recuentos efectuados por dilución cuantitativa y siembra son, hay que recordarlo, de los microorganismos que crecerán en el medio usado; otras bacterias no pueden determinarse con este método.

Se preparan dos series de placas: una de ellas se incuba a 20°C y la otra a 37°C. En general, las bacterias nativas del agua y el suelo crecen mejor a 20°C y en ciertos casos no se desarrollan a 37°C; por otra parte, las bacterias, de origen animal crecen con mayor rapidez a la temperatura del cuerpo. El número relativo de microorganismos que crecen en las dos temperaturas puede entonces sugerir el origen de las bacterias encontradas.

IV.2.2. DESCRIPCION DEL PROCESO.

Se reciben 158 lts/seg de agua cruda proveniente de pozos, a través de la línea 1. Una parte de esta alimentación se bombea hacia la sección de dosificación de cloro líquido por medio de la bomba GA-02. La sección de dosificación de cloro cuenta con un recipiente a presión FB-01 el cual tiene determinada carga de cloro y es reemplazado por otro en cuanto se termina su carga. En esta etapa se lleva a cabo la pre-desinfección. La adición de cloro se lleva a cabo en dos equipos mezcladores de cloro-agua FB-03 y FB-04 siendo uno de relevo, a razón de 80 kgs/día. El agua tratada con cloro del equipo mezclador se alimenta al circulador FA-01 a través de la línea 23.

Otra parte de la alimentación se bombea hacia la sección de dosificación de coagulante y floculante por medio de la bomba GA-03. Esta agua cruda se divide en dos corrientes, una de las cuales se utiliza para adicionarle cal química en el tanque mezclador GD-01 y una vez que se logra una mezcla homogénea de este material, se bombea hacia el circulador FA-01 por medio de la bomba GA-04/R. La otra corriente se utiliza para adicionarle sulfato de aluminio en el tanque mezclador GD-03 y una vez que se ha logrado una mezcla homogénea del agua-sulfato de aluminio, se bombea hacia el circulador FA-01 por medio de la bomba GA/06/R. El tanque mezclador GD-02 que está equipado con la bomba GA-05 sirve como tanque de relevo tanto para adicionar cal química como para adicionar

sulfato de aluminio, cuando alguno de los dos tanques GD-01 o GD-03 esta fuera de servicio.

También al circulador se alimenta agua tratada con polímero a través de la corriente 25. Este polímero se mezcla previamente con una corriente 24 que es una porción del agua que se bombea hacia la red de distribución, corriente 32, en el tanque mezclador GD/04. Una vez que se ha logrado una mezcla homogénea de estos materiales, se bombea hacia el circulador FA-01 por medio de la bomba GA-09/R.

En el circulador, se llevan a cabo las operaciones de floculación, coagulación y sedimentación. El agua que se recibe en este equipo entra por la parte inferior y asciende hacia la parte superior. La parte central del circulador tiene la forma de un cono invertido con el fin de que se logre una mezcla más homogénea de los materiales floculantes, desinfectantes y coagulantes. Para este fin, el circulador también cuenta con un medio de agitación lenta, para hacer más eficiente la formación de los flóculos. Los flóculos grandes que sedimentan en el circulador se separan por gravedad, además de que para una mayor eficiencia de eliminación de los mismos el circulador cuenta con un dispositivo de barrido del fondo, que tiene rasquetas, hacia su parte inferior en donde se encuentra una línea equipada con válvula, para la purga intermitente de estas impurezas, que se desechan a través del drenaje general por medio de la bomba de tipo vertical GA-10, la cual ayuda a eliminar más rápido estos desechos. El agua tratada en el

circulador sale por la parte superior a través de una canaleta lateral y se alimenta por gravedad hacia una batería de 5 filtros con lecho de arena FD-01/A,B,C,D,E, en donde se lleva a cabo la filtración. Los filtros están constituidos por un lecho de arena de aproximadamente 70 cm de espesor y son del tipo de filtración rápida y flujo descendente. Están equipados para ser retrolavados con agua y aire. El retrolavado con agua se lleva a cabo por medio de la bomba GA-11/R y la descarga del retrolavado se desecha a través del drenaje general. El retrolavado con aire se lleva a cabo por medio del compresor GB/01, accionado por motor eléctrico. Los filtros están equipados con indicadores de carga hidrostática o de taponamiento para saber cuando se necesita efectuar el mantenimiento del filtro. Por último, el agua tratada y filtrada sale de los lechos filtrantes y se recibe en unos sifones de donde pasa por gravedad hacia un depósito y de aquí se bombea hacia la red de distribución de agua potable por medio de 3 bombas verticales GA-12/ABC.

Finalmente, la planta potabilizadora cuenta con una línea de by-pass 34 para el caso en el que la planta salga de operación ya sea porque el circulador requiere mantenimiento o en el caso de falla de algún equipo importante.

IV.3. ANALISIS DEL PROCESO.

IV.3.1. ANTECEDENTES

Para satisfacer la demanda de una zona urbana e

industrial creciente, el Departamento del Distrito Federal decidió aprovechar el agua del subsuelo. Esta agua, además de una alta dureza, tenía una fuerte coloración desagradable.

Debido a que nuestro país no contaba con tecnología para el tratamiento del agua, el D.D.F. realizó un concurso para la construcción de una planta potabilizadora de agua en la zona oriente de la Ciudad de México, y de las diversas opciones se eligió un sistema confiable proporcionado por Pelletier-Degremont. El sistema de ésta firma consistió de un circulador de 28 m de diámetro y cinco filtros Aquazur de 3.60 m x 9.50 m.

Este equipo garantizó una eficiencia del 97% mínimo, obteniéndose agua potable conforme a las estrictas normas de la Dirección de Aguas y Saneamiento.

Para su análisis, se dividió la planta en varias secciones que se describirán en seguida.

IV.3.2. SECCION DE ALIMENTACION.

La sección de alimentación está constituida por tres bombas, las cuales en conjunto suministran un gasto total de 158 lt/seg. de agua cruda a la planta, mediante una tubería que tiene un diámetro de 12 pulgadas.

La identificación de las bombas es de acuerdo con el número del pozo del que extraiga agua, siendo de la manera siguiente:

BOMBA No. 2 (Pozo No. 2). La cual contribuye al gasto total con 29 lt/seg (18% del total), teniendo actualmente de acuerdo a los procedimientos del análisis físico-químico mencionados

anteriormente, una turbiedad promedio de 4.0 NTU (unidades nefelométricas de turbiedad).

BOMBA No. 4 (Pozo No. 4). La cual se encuentra a una distancia de aproximadamente 500 m con respecto a la bomba No. 2 y que contribuye al gasto total con 41 lt/seg (26%), teniendo de acuerdo a los procedimientos de análisis mencionados anteriormente una turbiedad promedio de 4.1 NTU.

BOMBA No. 5 (Pozo No. 5). Esta bomba se localiza a una distancia de aproximadamente 100 m con respecto a la bomba No. 2 y contribuye al gasto total con 88 lt/seg (56%), teniendo de acuerdo al análisis anterior una turbiedad promedio de 5.4 NTU.

La tubería de descarga de éstas tres bombas se une antes de llegar a la planta potabilizadora, la cual se encuentra a aproximadamente 2000 m de la bomba No. 2 que es la más alejada.

IV.3.3. SECCION DE DOSIFICACION DE REACTIVOS

Los dosificadores instalados para la aplicación del sulfato de aluminio y la cal, son del tipo volumétrico de dosificación por banda, con control automático proporcional al gasto, los cuales no funcionan adecuadamente debido a problemas que se presentan al manejar los reactivos, como por ejemplo, la humedad del medio ambiente que hace que se formen grumos en los materiales. Estos dosificadores son tres y se utilizan de la manera siguiente: el primero para la dosificación de sulfato de aluminio, el segundo para la dosificación

de la cal, y el tercero para dosificar indistintamente cualquiera de los dos reactivos ya sea el sulfato de aluminio o la cal, en otras palabras, la tercera unidad de dosificación se emplea como equipo de relevo.

La gama en la cual se pueden ajustar estas unidades dosificadoras es de 100:1, obteniéndose por ajuste de una compuerta y de una caja de engranes. La capacidad mínima es de 109 kg/día y la máxima es de 10.900 kg/día. Cada dosificador está acoplado a un tanque de solución de 190 lt equipado con un agitador mecánico.

Para la aplicación de estos productos químicos, se cuenta con dos tolvas de extensión, una para el sulfato de aluminio y la otra para la cal, con la particularidad de que cada tolva se bifurca y cada bifurcación alimenta a un dosificador común que sirve indistintamente para dosificar el sulfato de aluminio o la cal, además de tener instalada una compuerta de cuchillas de operación manual.

Cada tolva tiene una capacidad de almacenamiento aproximada de 2.0m^3 a 2.5m^3 , considerando para éste volumen la parte superior en una sección para la descarga de los productos químicos, que incluye tapa, tamiz de acero inoxidable, junta flexible y sello para su acoplamiento con la parte superior. Además cada tolva tiene un vibrador acoplado y un indicador de nivel del producto químico.

Para la dosificación del polímero, existen dos unidades, siendo una de éstas una unidad de relevo, para cuando una de las unidades esté fuera de servicio ya sea por

descompostura o mantenimiento. Las unidades de dosificación de polímero están acopladas cada una de ellas a un tanque de material de polietileno con capacidad de 200 lts., con graduaciones y un agitador mecánico, operado por un motor de 1/4 de H.P.

Cuando el color y la turbidez son muy bajos en el agua cruda, se puede practicar la filtración directa empleando un polímero como coagulante primario y la adición de cloro en la etapa de desinfección.

Para la precloración y la postcloración, o ambas, se tienen dos unidades de dosificación de solución de cloro, de operación automática, proporcional al gasto, el cual se mide con un rotámetro. Cada clorador puede dosificar hasta 100 kg. de cloro por día.

El equipo utilizado para su aplicación debe operar dentro de límites muy estrictos de exactitud, ya que el cloro en cantidades demasiado pequeñas es ineficaz y en cantidades demasiado grandes causa problemas de sabor y olor. La operación del clorador instalado como se anotó anteriormente, es automática, esto es, la cantidad del cloro alimentado al agua es proporcional al volumen de flujo y a la demanda de cloro del agua.

IV.3.4 CIRCULADOR

En esta unidad de mezclado se llevan a cabo las operaciones de floculación y sedimentación de las partículas contaminantes del agua.

La unidad de mezclado se localiza al inicio de los procesos de potabilización, cumpliendo la función, como su nombre lo indica, de mezclar el sulfato de aluminio, la cal química y el polímero para dar lugar a la formación de los flóculos y a la vez para desechar la materia que sedimenta al llevarse a cabo las reacciones entre los contaminantes del agua y el sulfato de aluminio, la cal y el polímero, por medio de un dren. El dispositivo para el mezclador se encuentra en la parte superior del circulador o reactor como lo llamó la firma Pelletier, S.A. constructora de la planta.

El sulfato de aluminio que al igual que la cal es una sustancia química que en el presente caso se utiliza como coagulante, y a la que se conoce como alumbre, es una sustancia que debido a sus propiedades es fácilmente soluble en agua, se aplica con facilidad ya sea en solución o directamente en forma de material seco. En la planta se aplica en la primera forma ya que permite un mejor control de su dosificación. Las reacciones entre el sulfato de aluminio y los constituyentes del agua, están influenciadas por muchos factores, entre los cuales se encuentra su solubilidad; por ello, se consideró conveniente determinar mediante la prueba de jarras, que se explicará en seguida, o la de tanteos o experimentación, las cantidades de coagulante que se requieren.

La prueba de jarras se usa para determinar la dosis más efectiva de coagulantes, para un agua específica, que se requiere agregar para el control de la coagulación y la

floculación en una planta de tratamiento de agua. Esta prueba también se puede utilizar para determinar la velocidad de estabilización para el diseño de la porción de sedimentación, y para averiguar el potencial de filtración directa del agua cruda.

Las soluciones de materia prima de coagulantes, coagulantes ayuda y otras sustancias químicas, deben ser preparadas a concentraciones tales que las cantidades adecuadas a utilizarse en las pruebas de coagulación se puedan medir con exactitud y adecuadamente.

La siguiente tabla 4.1 muestra los agentes químicos empleados en la prueba de jarras.

TABLA 4.1

Agentes Químicos	Concentración de la solución de materia prima	1 ml/l de agua equivale a:
Sulfato de Aluminio	1%	10 mg/lt
Cloruro Férrico	1%	10 mg/lt
Cal	1%	10 mg/lt
Polielectrólito	0.05%	0.5 mg/lt
Acido Sulfúrico	0.1 N	4.9 mg/lt

La preparación de la solución se lleva a cabo de la siguiente manera:

Tanto el cloruro férrico como el sulfato de aluminio se preparan usualmente como una solución al 1% en peso, 1 g en 100 ml. La preparación para el sulfato de aluminio o cloruro férrico seco, es de acuerdo a cualquier procedimiento convencional. Sin embargo, con soluciones líquidas concentradas (por ejemplo, cuando el sulfato de aluminio está al 48.5% en peso), es necesario un paso de disolución debe considerar la densidad relativa de la solución que es diluida (por ejemplo), el sulfato de aluminio líquido al 48.5% tiene una densidad relativa de 1.35. Para obtener una solución al 1% de sulfato de aluminio líquido, se deben llevar a cabo los siguientes pasos:

1 ml de sulfato de aluminio líquido al 48.5%, pesa 1.35 g

1 ml contiene $1.35(0.485) = 0.65$ g

$1 \text{ g} = 1/0.65 = 1.54$ ml

Por consiguiente, se adiciona 1.54 ml de sulfato de aluminio líquido a 100 ml de agua para hacer una solución al 1%.

Se debe tener mucho cuidado cuando las soluciones poliméricas para la prueba de jarras proceden de polímeros en polvo. Se pueden formar aglomerados de polímero si el polímero se adiciona a la solución en forma rápida o si las soluciones usadas son mayores al 1%. Se recomienda que las concentraciones de polímero que se van a usar sean de 0.05 a 0.1%.

1 ml. de polímero al 1%, adicionado a 1000 ml de agua=
10 mg/lt.

1 ml. de polímero al 0.1%, adicionado a 1000 ml de agua=
1 mg/lt.

En la planta, la prueba de las jarras se realiza agregando cantidades conocidas de coagulantes a varias jarras del agua que se va a tratar, agitando suavemente las mezclas durante un período de tiempo definido y observando después la calidad y características de la sedimentación de los flóculos.

Dependiendo de su turbiedad y color, las dosificaciones administradas comúnmente se basan en la Tabla 4.2 siguiente:

TABLA 4.2

Turbiedad NTU	Sulfato de Aluminio g/min	Cal Química g/min
80	600	300
52	570	180
47	540	180
35	540	180
30	432	150
25	360	120
10	120	48

El sulfato de aluminio, la cal y el polímero son alimentados al circulador por la parte inferior de éste ascendiendo debido a la fuerza impulsora que los alimenta al circu-

lador y ayudados en cierta forma por el dispositivo mezclador con que cuenta el circulador. Los flóculos que se forman en la parte superior del circulador posteriormente son retenidos en las unidades de filtración y en la materia sedimentable que se drena.

En un momento dado, la velocidad de agitación puede cambiarse si es necesario, ya que la velocidad de agitación varia con las características del agua, la dosis de los compuestos químicos empleada, la temperatura del agua y el período de coagulación.

IV.3.5 SECCION DE FILTRACION.

La sección de filtración consta de 5 filtros con lecho de arena de 3.6 m de altura por 9.5 de longitud.

Después de que se forman los flóculos en el circulador, los flóculos grandes sedimentan y son desechados mediante un dren, mientras que los flóculos pequeños pasan a los filtros con lecho de arena en donde son retenidos en su mayoría y por consiguiente son eliminados del agua, la cual se pasa enseguida a unos sifones, uno por cada filtro para su envío posterior a una cisterna de donde se enviará a la red de distribución.

Estos filtros cuentan con dispositivos indicadores de presión y medidores de flujo, que debido al tiempo de funcionamiento se han dañado y por consiguiente no están en funcionamiento, ocasionando que el retrolavado de los filtros,

después de que han estado trabajando un tiempo determinado, sea de acuerdo con la opinión del operador, basándose en su experiencia y en la verificación ocular de que la cantidad de agua filtrada es mínima.

El retrolavado de los filtros de arena se lleva a cabo con agua ya tratada que se bombea desde la cisterna, y con aire que es proporcionado por un compresor.

La altura del lecho de arena en los filtros es de 75 cm, teniendo cuidado de que no disminuya demasiado ya que esto ocasionará una baja calidad de agua debido a que los flóculos podrían pasar en mayor cantidad ya que la resistencia que ofrece el lecho de arena sería demasiado pequeña.

El sistema de drenaje y lavado está constituido por un fondo Leopold, con orificios de salida en la parte superior y tubería longitudinal, dividido en cuatro cámaras (dos de alimentación y dos de compensación).

Con los fondos mencionados anteriormente se provee un sistema de desague inferior capaz no solamente de captar uniformemente el agua filtrada, sino también de distribuir uniformemente el flujo de agua, cuando el filtro se está retrolavando. Los sistemas de "falso fondo" incluyen también la ventaja de tener un menor costo de mantenimiento y desde luego, cajas de filtración menos profundas.

El tipo de medio filtrante que en este caso es arena, tiene un coeficiente de uniformidad no mayor de 1.75. Los granos pequeños filtran mejor, pero se tiene que retrolavar el filtro continuamente. Los granos mayores permiten un

mayor período de funcionamiento del filtro, produciendo un afluyente aceptable si el filtro tiene una buena profundidad.

El cambio del material filtrante se realiza cada 5 años, aunque se puede acortar si en el retrolavado se pierde demasiada arena, ocasionando una disminución en la altura.

IV.3.6 SECCION DE DISTRIBUCION A LA RED DE ALIMENTACION

La sección de distribución a la red de alimentación consiste en una cisterna a la cual se alimenta el agua ya tratada procedente de los sifones, que están acoplados con cada uno de los cinco filtros. La alimentación a la red de distribución se lleva a cabo mediante tres bombas.

La cisterna se limpia y desinfecta cada 6 meses por lo que es necesario contar con un by pass (derivación) para hacer pasar el agua tratada a la red de alimentación.

V. PROPUESTAS DE MEJORAS AL SISTEMA DE OPERACION

V.I. SECCION DE ALIMENTACION

Para la sección de alimentación se propone la instalación de bombas de relevo para las bombas de los pozos 2,4, y 5.

Con relación a su funcionamiento y a los dispositivos necesarios para mejorar el desempeño de las bombas, cada una de ellas se analizará en forma independiente.

Bomba del pozo número 5

Esta bomba o estación de bombeo es la que proporciona la mayor cantidad de agua de alimentación a tratar, la cual es de 88 lt/seg, cantidad medida por el departamento de medición que es independiente de la planta. La bomba cuenta, como se mencionó líneas arriba, con un cuarto de control eléctrico en el que se encuentra la caja principal para el paro y arranque del motor de la bomba que tiene una potencia de 3 H.P. Esta caja principal de paro y arranque es desconectada en ocasiones debido a variaciones de la corriente eléctrica que llega a ella ocasionando que el flujo de agua de 88 lt/seg que suministra esta bomba, tenga que ser restado a los 158 lt/seg que son proporcionados por las tres bombas en conjunto a la planta y por consiguiente se produce un desequilibrio en la proporción de agua a reactivos, que son utilizados para su potabilización, y que serán analizados posteriormente.

Además de lo anterior, la bomba no cuenta con el equipo necesario para su buen funcionamiento y control, es decir no tiene los dispositivos mínimos para su control como por ejemplo, un manómetro para saber la presión de descarga y por lo tanto el flujo que sale de la bomba, esto evitaría la dependencia que se tiene de la información proporcionada por el departamento de medición, el cual realiza las mediciones cada 3 o 6 meses. Cabe mencionar que la detección de la disminución del agua cruda captada, se realiza por los opera-

dores de los filtros de arena, al percatarse del bajo nivel de agua que existe en los mismos, reportando esto al personal asignado al mantenimiento de la bomba.

Con base en los problemas presentados, se propone la instalación de un manómetro, y en la línea que llega a la bomba un medidor de flujo, además, la verificación por el personal de la planta por lo menos cada 3 horas de que la bomba esté funcionando y si fuera posible, montar un dispositivo que enviará una señal eléctrica perceptible por los operadores. Con lo anterior se obtendría el siguiente beneficio:

Conocimiento del paro de la bomba y por consiguiente su inmediata puesta en marcha sin descompensar la cantidad de reactivos empleados en el tratamiento del agua.

Bomba del pozo número 4

Esta bomba es la segunda en importancia de la sección de alimentación ya que proporciona un flujo de agua de 41 lts/seg, por lo que también es necesario tener un control sobre la misma para evitar que salga de servicio y en consecuencia afecte el flujo de agua que se suministra a la red de distribución, repercutiendo en la cantidad de agua que recibe la población beneficiada con este servicio.

De las tres bombas que alimentan agua a la planta potabilizadora, esta bomba es la que mayor turbidez presenta. Por lo que se necesita saber cuando esta bomba esta fuera de

operación, ya sea por fallas eléctricas, mecánicas o por cualquier otra causa (por ejemplo la desconexión intencional por gente ajena a la DGCOH (Dirección General de Constr. y Opn. Hidráulica) debido a que en actos de pillaje se introducen a las estaciones de bombeo que no cuentan con vigilancia), para que en forma inmediata se ponga nuevamente en funcionamiento si fuera posible, o en su defecto reducir la cantidad de reactivos utilizados durante el proceso de potabilización.

Al igual que la bomba del pozo No. 5, la bomba del pozo No. 4 no cuenta con los dispositivos necesarios para su operación adecuada, es decir, no cuenta con manómetro, medidor de flujo ni medidor de temperatura.

Con la finalidad de mejorar los inconvenientes que se presentan en el funcionamiento de esta bomba, se expone a manera de propuesta lo siguiente:

1. Verificar diariamente la turbidez que presente el agua a la salida del pozo, para tener una gama de turbidez en la cual se encuentra el agua proporcionada por este pozo. La verificación la puede realizar el personal asignado al laboratorio, que es el encargado de analizar las variables físico-químicas del agua a la entrada de la planta y de la que se va a la red de distribución. Las variables son temperatura, pH, conductividad, turbiedad, color, alcalinidad y dureza total como CaCO_3 (de acuerdo a los reactivos empleados para su medición). También, además de las variables anteriores se debería contar con un equipo para el análisis de bacterias;

2. Instalar en la bomba o línea que sale de la misma, un medidor de presión, un medidor de temperatura, y un medidor de flujo, los cuales se deben equipar con un alojamiento o caja a prueba de uso indebido, para evitar los actos de pillaje que son frecuentes;

3. Verificar por lo menos cada 3 horas que la bomba esté operando;

4. Dar mantenimiento preventivo a la bomba, para asegurar su buen funcionamiento.

Bomba del pozo número 2

La cantidad de flujo de agua manejada por esta bomba es 29 lt/seg. La distancia a la que se encuentra de la planta potabilizadora es de aproximadamente 500 mts., por lo que se debería tener un mayor control sobre la misma con respecto a su operación y a sus variables fisicoquímicas, debido a que no sería indispensable contar con un vehículo para llegar a ella.

Al igual que las bombas No. 5 y No. 4, esta bomba no cuenta con los dispositivos necesarios para su funcionamiento adecuado, como manómetro, medidor de temperatura y medidor de flujo. Por lo tanto, se propone como mejora el instalar los dispositivos mencionados y adicionalmente, en el punto en donde se unen los tres flujos de las bombas, instalar un medidor de flujo con un transmisor de señal, con el fin de que transmita la lectura de flujo a una consola que controle el proceso de potabilización.

V.2. SECCION DE DOSIFICACION DE REACTIVOS

La dosificación de reactivos ha sido estandarizada en la planta para el flujo máximo de agua cruda que de acuerdo con los datos proporcionados por el Departamento de Medición es de 158 lt/seg. Esta estandarización de la dosificación se hizo en base a métodos de tanteo, como puede ser el método de pruebas de las jarras ya mencionado, que se lleva a cabo en el laboratorio que se encuentra en la planta. Sin embargo, debido a los problemas mencionados con respecto a las bombas, como son las interrupciones del suministro eléctrico y descomposturas de las bombas, frecuentemente se recibe un caudal menor de agua cruda y puesto que no existe un medidor de flujo que indique la cantidad de agua recibida en la planta, se continúan agregando las mismas cantidades de reactivos, lo que puede ocasionar problemas de salud en los usuarios, debido a que se estarían infringiendo las normas establecidas por la Secretaría de Salud y las del Código de Saneamiento (ver apéndice II en el que se encuentra la clasificación de las aguas de los cuerpos superficiales en función de sus usos y características de calidad) y conduce a un gasto innecesario de estos reactivos.

Los equipos de esta sección de alimentación, como son las tolvas y recipientes de mezclado, cuentan con instrumentos que controlan la dosificación de los reactivos, pero desafortunadamente, éstos no funcionan debido a que no recibieron mantenimiento oportunamente y al desgaste natural debido a su tiempo de operación ya que funcionan desde 1961 y

cabe mencionar que las partes de repuesto ya no se encuentran en el mercado nacional. Por otra parte, existe en la planta un medio ambiente húmedo el cual ocasiona que la cal química y el sulfato de aluminio formen aglomeraciones producidas por la humedad que existe dentro del cuarto de sección de dosificación y provoca que la tolva se tape y no alimente los mismos al proceso de potabilización, siendo necesario alimentarlos en forma manual o que una persona destruya estas aglomeraciones utilizando algún medio.

Con base en estos problemas, se propone reparar o reinstrumentar los equipos automáticos de adición de reactivos tales como los equipos para la adición de cal química, sulfato de aluminio y polímero, de tal manera que se puede hacer llegar a estos equipos una señal eléctrica o neumática que provoque que estos equipos alimenten los reactivos de acuerdo al volumen de agua captada. Como la señal eléctrica tiene que ser enviada o recibida por algún dispositivo, se propone también la instalación de una consola maestra para el control de estas señales.

Los beneficios que se pueden obtener son:

1. Un suministro adecuado de reactivos al agua cruda, obteniéndose agua con un patrón de calidad uniforme y que no provocará perjuicio alguno al público.
2. Ahorro en el consumo de reactivos tanto para la adición al agua cruda como para las pruebas de laboratorio, ya que podrían realizarse con menos frecuencia.

V.3 CIRCULADOR

Debido a la gran cantidad de materia sedimentada en el circulador o reactor como lo llamó la compañía constructora Pelletier, la tubería de drenaje se tapa, por lo que es necesario destaparla continuamente. Existe en el circulador un dispositivo agitador que gira a una velocidad constante para ayudar a la formación de los flóculos y a que sedimente la materia sedimentable.

PROPUESTAS

1. Cambiar la tubería de drenaje a una más adecuada, es decir a una que permita el drenado suficiente de la materia sedimentada.

2. Con respecto al dispositivo agitador y debido a que existe duda sobre la velocidad adecuada de tal dispositivo, se propone la realización de pruebas en la velocidad del mismo, para encontrar la velocidad óptima para la formación de los flóculos y la sedimentación del material.

V.4. SECCION DE FILTRACION

Una de las secciones más importantes en las plantas potabilizadoras es la sección de filtración ya que es el último paso requerido para la obtención de agua potable, la cual posteriormente pasará por sifones y por último llegará a una cisterna desde la cual se enviará a la red de distribución. Por lo tanto, es necesario analizar cada una de las partes que conforman los filtros de arena que existen en la

planta de estudio.

Como los cinco filtros que se encuentran en la planta en esencia tienen la misma construcción sólo se hará referencia a uno.

Profundidad del Filtro

La profundidad de un filtro es la suma de las siguientes cantidades: la altura del drenaje inferior; la profundidad total del lecho de arena; la altura del agua arriba de la arena y la distancia por arriba del nivel del agua.

En base a lo anterior se tiene una altura total de filtro en estudio de 3.60 mts.

La práctica ha demostrado que la altura del lecho de arena debe de estar entre 70 y 75 cm a fin de detener la mayor cantidad de flóculos. Sin embargo, en el presente caso es difícil mantener este rango de altura ya que se pierde demasiada arena en la operación de retrolavado la cual es imposible reponer inmediatamente en el filtro por las siguientes causas:

1. Es necesario recolectar la arena expulsada por la acción del lavado que no será recuperada en su totalidad debido a que no existe un medio de detención, por lo cual sólo se recupera la arena que no es arrastrada por la misma agua que se desperdicia junto a ella. Además de que la recolección de la arena es mediante paleo.

2. Debido a que se requiere hacer una requisición de la arena, esto lleva tiempo. En este punto, debe considerarse

que no se puede pedir continuamente la arena a la sección correspondiente, puesto que se tiene un presupuesto anual asignado para ello o para el funcionamiento de la planta.

3. El filtro está funcionando en forma continua y sería necesario detener el suministro de agua alimentada al mismo, para poder adicionar la arena, lo cual ocasionaría pérdida de tiempo y sobrecarga de los filtros que quedarán en operación.

Al pasar el agua a través de un filtro, se deposita materia en suspensión en la parte superior del lecho y en las capas superiores de la arena. Este material aumenta la resistencia al flujo de agua a través de la arena. Cuando una unidad de filtración se pone por primera vez en servicio, la pérdida de carga es relativamente pequeña, en tanto que después de un período de operación puede ser bastante grande. Cuando la pérdida se vuelve demasiado grande se lava el filtro. En operación, la pérdida de carga se indica mediante medidores que indican la diferencia de presión entre la superficie del agua arriba del filtro y la presión de compresibilidad del líquido a la salida del filtro.

Aunque en el piso de operación o piso de control del proceso existen medidores que están colocados a cada uno de los filtros, estos están fuera de servicio, por lo que el operador en base a su experiencia realizará la operación del lavado del filtro cuando lo considere necesario.

La unidad de filtración se lava cuando la calidad y flujo del agua se ha reducido, indicando por consiguiente que el medio filtrante se ha ensuciado, por lo que se necesita la máxima carga de gravedad para forzar el agua a través del lecho. El fin del lavado es eliminar toda la materia suspendida que se ha depositado sobre y dentro de la arena. El lavado se lleva a cabo invirtiendo el flujo de agua a través del filtro, pero utilizando una velocidad mayor.

Con la finalidad de efectuar un lavado eficaz del filtro, se inyecta aire. Este aire ocasiona que la materia que se encuentra dentro del lecho de arena y que no se removerá utilizando sólo agua, sea empujada hacia la parte de arriba del lecho, ayudando a la vez a la distribución de la arena, provocando con esto que el filtro permanezca en funcionamiento durante más tiempo, es decir que la pérdida de carga no se produzca en un período corto.

A este respecto, debe mencionarse que también el indicador de presión para el suministro de aire está fuera de servicio y que por lo tanto el operador nuevamente en base a su experiencia juzga que tanto debe de abrir la válvula que controla el aire.

Propuestas para mantener la altura de la arena y para efectuar un lavado del filtro adecuado

1. Puesto que entre cada filtro existe una cierta distancia, se debe de colocar un medio que retenga la arena

que sale del filtro cuando éste es lavado y sólo deje pasar el agua, la cual llega al desagüe. Este medio puede ser una lona o una malla con un paso un poco menor al diámetro de uniformidad de la arena, empleado. Es de esperarse que la lona o la malla se tape por la cantidad de arena retenida y por consiguiente no pase agua a través de ellos después de un cierto tiempo, por lo que es necesario fijar un límite de tiempo para el lavado del filtro.

Lo anterior evitaría palear la arena, esto es, recolectarla desde el filtro hasta el pozo indio desde el cual es desechada al drenaje, además de que se recuperaría la mayoría de arena que tan pronto como se detuviera el lavado del filtro sería regresada al mismo.

2. Poner nuevamente en operación los indicadores de presión que indiquen la pérdida de carga o si no existen repuestos de éstos, colocar otros.

3. En base a datos básicos obtenidos de otras plantas potabilizadoras, controlar el tiempo de lavado, presión de alimentación del agua y del aire utilizados en el lavado.

4. Diseñar un sistema de control por señales eléctricas o neumáticas como el que se muestra en el DTI anexo al final del capítulo, de modo que se pueda controlar de forma automática el flujo de aire y agua del lavado.

Es de esperarse que debido al lavado del filtro con agua y aire, y a los lavados rápidos del mismo, la arena más fina tienda a estratificarse en la parte superior por lo cual

es difícil lavar esta arena fina, por lo tanto una opción es montar un equipo para lavado superficial justo arriba de la superficie de la arena y que arroje chorros de agua a presión para romper la superficie de la arena y arrastre las partículas de las mismas. Este equipo aumentaría la habilidad del operador para limpiar el lecho superior y evita la formación de aglomeraciones grandes y áreas muertas u obstruidas.

Sistema de Drenaje Inferior

El sistema de drenaje inferior en una unidad de filtración debe captar el agua filtrada. También debe de ser capaz de pasar el agua de lavado a una cierta velocidad, la cual depende del diseño, al aplicarla uniformemente sobre la porción inferior del lecho de arena. Aunque se utilizan diferentes tipos de construcción para los sistemas de drenaje inferior, el más utilizado y el más adecuado para estos filtros de acuerdo a su diseño es el Wheeler, el cual hasta la fecha no ha tenido problemas operativos, no siendo necesario proponer ninguna mejora al mismo.

V.5.- PROPUESTA DE INSTRUMENTACION DE LA PLANTA Y DTI

Aunque el proceso unitario que constituye el tratamiento de agua puede ser complejo desde el punto de vista químico, electroquímico o físico, los sistemas de control que se usan para regular la planta son relativamente sencillos.

Normalmente, una planta de tratamiento de agua consiste en una serie de no más de seis unidades de filtración, por las cuales pasa el agua. Algunas de estas, por

ejemplo , la filtración se componen de trayectorias paralelas, cuyo número está determinado por el tamaño y capacidad de la planta.

Una planta de tratamiento de agua nunca satisface directamente la demanda de una comunidad; produce a una velocidad relativamente constante y almacena el exceso de producción para responder a demandas futuras. Por lo tanto, el equipo de control no requiere grandes variaciones en la producción.

Contrariamente a lo que sucede en las plantas de tratamiento de desechos, las distancias de transmisión de señales neumáticas o eléctricas en una planta de tratamiento de agua potable son relativamente cortas, ya que por lo general, las unidades se alojan en una misma estructura; en consecuencia, se puede usar la transmisión neumática que es la adecuada cuando las distancias de transmisión son cortas.

La elección del sistema general de control que puede utilizarse en una planta específica depende de varios factores.

Los principales son:

Tamaño de la Planta

Forma de Operación (continua o intermitente)

Disponibilidad del personal adecuado

Flujo constante o variable

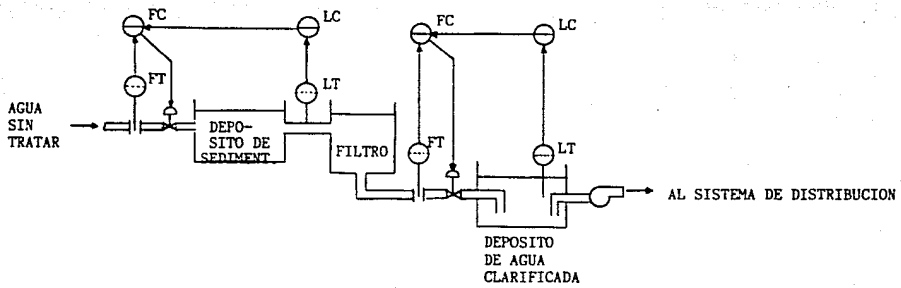
Autoregulación o regulación manual

Factores económicos

Existen dos tipos básicos de sistemas para el control de la velocidad de filtración, los cuales se mencionan a continuación:

Sistema Tipo 1 (Véase Figura 5.1)

En este sistema, el nivel de pozo de agua clarificada determina el ajuste de los controladores de la velocidad del afluente en filtros individuales. El nivel del filtro determina la velocidad del afluente. Si un cambio en la demanda de agua reduce el nivel en el pozo de agua clarificada y aumenta la rapidez de filtración, el nivel del filtro desciende levemente y admite una mayor cantidad de agua a la planta. La rapidez de entrada a la planta se iguala con la demanda de distribución. Este sistema funciona bien cuando se cuenta con un gran abastecimiento a una carga razonablemente constante, como cuando un embalse abastece una planta.



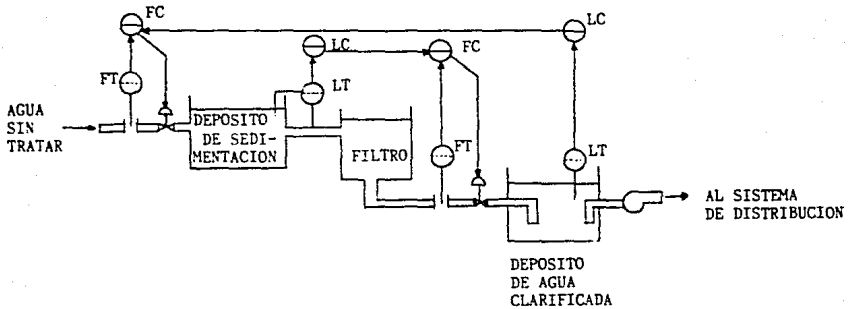
SISTEMA TIPO 1

FIGURA 5.1

INSTRUMENTACION TIPICA DEL TIPO 1 PARA UN
FILTRO DE ARENA.

Sistema tipo 2 (Véase Figura 5.2)

El nivel del filtro determina la rapidez de filtración y el del pozo de agua clarificada establece la rapidez de entrada del agua a la planta en este sistema. Como se indica en la Figura 5.2, el controlador del nivel del filtro ajusta al punto de referencia de los controladores del efluente del filtro. Este sistema, inherentemente limitado por la capacidad de los pozos de sedimentación, puede controlar el nivel del pozo de agua clarificada en forma tan precisa como un sistema del tipo 1. Las ventajas del tipo 2 son: los cambios en la rapidez de filtración son lentos y no siguen exactamente la demanda del sistema de distribución, como sucede en el sistema tipo 1. El sistema tipo 2 es a prueba de fallas, porque las válvulas del efluente del filtro se cierran automáticamente cuando falla el abastecimiento de agua, dejando lleno los depósitos de filtrado. Este elimina la necesidad de enjuagar los filtros cuando se restaura el abastecimiento, antes de continuar el filtrado. Los filtros vuelven a funcionar automáticamente cuando se restaura el abastecimiento y la planta comienza a efectuar sus operaciones.

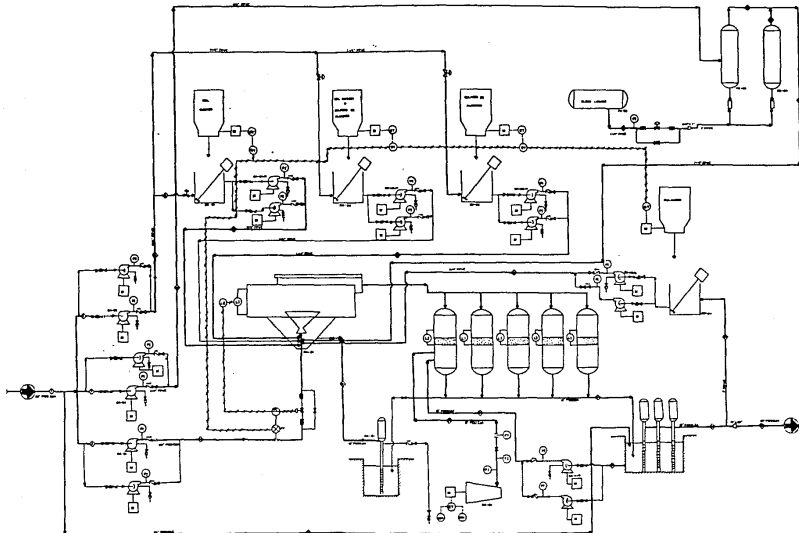


SISTEMA DEL TIPO 2

FIGURA 5.2

INSTRUMENTACION TIPICA DEL TIPO 2 PARA UN
FILTRO DE ARENA.

Debido a las ventajas mencionadas, y a que un sistema de tipo 2 es el más adecuado para las condiciones del sistema operativo de la Planta Potabilizadora Agrícola Oriental, se propone instrumentar la planta con un sistema de control del tipo 2 mencionado.



LISTA DE EQUIPO		
CLAVE	NOMBRE	DIMENSIONES
00-01	RECEPTOR	Ø 3000 mm x 60 longitud.
00-02	RECEPTOR DE AGUA CLARADO	Ø 1.500 mm x 12.000 mm
00-03	RECEPTOR DE AGUA TRATADO	Ø 3000 mm x 12.000 mm
00-04	RECEPTOR DE AGUA TRATADO CON CLORO	Ø 3000 mm x 12.000 mm
00-05	FILTRO DE AGUA DE 1.500 mm	Ø 1.500 mm x 2.500 mm
00-06	RECEPTOR DE AGUA TRATADO CON CLORO	Ø 1.500 mm x 2.500 mm
00-07	RECEPTOR DE AGUA TRATADO CON CLORO	Ø 1.500 mm x 2.500 mm
00-08	RECEPTOR DE AGUA TRATADO CON CLORO	Ø 1.500 mm x 2.500 mm
00-09	RECEPTOR DE AGUA TRATADO CON CLORO	Ø 1.500 mm x 2.500 mm
00-10	RECEPTOR DE AGUA TRATADO CON CLORO	Ø 1.500 mm x 2.500 mm
00-11	RECEPTOR DE AGUA TRATADO CON CLORO	Ø 1.500 mm x 2.500 mm
00-12	RECEPTOR DE AGUA TRATADO CON CLORO	Ø 1.500 mm x 2.500 mm
00-13	RECEPTOR DE AGUA TRATADO CON CLORO	Ø 1.500 mm x 2.500 mm
00-14	RECEPTOR DE AGUA TRATADO CON CLORO	Ø 1.500 mm x 2.500 mm
00-15	RECEPTOR DE AGUA TRATADO CON CLORO	Ø 1.500 mm x 2.500 mm
00-16	RECEPTOR DE AGUA TRATADO CON CLORO	Ø 1.500 mm x 2.500 mm
00-17	RECEPTOR DE AGUA TRATADO CON CLORO	Ø 1.500 mm x 2.500 mm
00-18	RECEPTOR DE AGUA TRATADO CON CLORO	Ø 1.500 mm x 2.500 mm
00-19	RECEPTOR DE AGUA TRATADO CON CLORO	Ø 1.500 mm x 2.500 mm
00-20	RECEPTOR DE AGUA TRATADO CON CLORO	Ø 1.500 mm x 2.500 mm



TESIS PROFESIONAL

D.T.I.

DE:

PLANTA POTABILIZADORA

AGRICOLA ORIENTAL.

FECHA	PROYECTO	PLANOS

VI. CONCLUSIONES

Los objetivos planteados para el presente trabajo fueron el analizar el sistema operativo de una planta potabilizadora para posteriormente plantear mejoras al mismo, por lo que fué necesario el conocimiento de la operación unitaria de separación y las partes en que se subdivide, los diferentes procesos tanto químicos como físicos que se utilizan para llevar a cabo la misma, los equipos utilizados en cada caso, los diferentes tipos de filtros involucrados en la misma y específicamente los filtros de arena empleados para la potabilización del agua que se utilizará para el consumo humano. Debido a ésto último, fué necesario realizar un estudio práctico de una planta potabilizadora de agua. Por lo cual después de localizar y analizar dos de las principales plantas abastecedoras de agua potable en la Ciudad de México (Planta Agrícola Oriental y Planta Magdalena Contreras), administradas por el Departamento del Distrito Federal a través de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, se seleccionó la Planta Potabilizadora Agrícola Oriental por haberse encontrado que tenía varias deficiencias observadas durante una visita guiada y previamente tramitada ante la DGOH. Por lo tanto, se procedió en seguida a realizar las gestiones necesarias ante tal dirección, para poder realizar el análisis completo correspondiente de la planta.

El primer dato que se obtuvo fué la capacidad original con la que la planta empezó a operar y la capacidad actual manejada, lo que dió como resultado que la planta está funcionando a aproximadamente un 50% de la capacidad con respecto a la que originalmente se había planeado. Es obvio que una de las causas principales por las cuales a decaído la capacidad productiva de la planta se debe al deterioro ambiental y al abuso que a sufrido el subsuelo al extraerse grandes cantidades de agua para cubrir las necesidades de la población que ha crecido durante los 29 años de funcionamiento de la planta en la zona donde se localizó la misma.

Por otra parte, la planta originalmente era abastecida por cinco pozos, pero debido a las causas antes mencionadas, dos de estos cinco pozos tuvieron que ser cerrados por encontrarse que tenían una excesiva turbiedad y presencia de elementos contaminantes difíciles de separar, y por lo tanto, ya no era conveniente utilizar estas aguas ya que de acuerdo a las normas internacionales rebasaban el límite máximo permisible de sustancias contaminantes en las mismas.

Con respecto a al operación de la planta, esta debe funcionar en forma ininterrumpida. En este punto cabe aclarar que el equipo principal de la planta necesita mantenimiento, el cual se le dá dos veces por año, ya que la planta necesita operar en forma continua. Está claro que a la población no se le deja de suministrar agua porque existe una reserva de agua ya potabilizada, calculada previamente para cuando la planta

recibe mantenimiento.

El equipo utilizado para la operación de la planta, tal como bombas y filtros de arena, no tienen instrumentación, o esta instrumentación está fuera de servicio, por lo que el personal de la planta opera manualmente y de acuerdo a su experiencia, las válvulas o equipo para el suministro de aire y agua de retrolavado de los filtros, así como las válvulas que deberían de controlarse en forma automática para la adición de los reactivos que permiten la floculación, sedimentación y cloración. Lo anterior ocasiona que existan fallas en cuanto a que si una bomba por cualquier causa sale de servicio y el personal no se da cuenta inmediatamente de esto, se seguirá agregando la misma cantidad de reactivos al flujo menor de agua que se recibe, lo que puede ocasionar problemas de salud del usuario que consume el agua, y por supuesto habrá un desperdicio de reactivos.

Debido al reducido presupuesto asignado para el mantenimiento de la planta y a la relativa dificultad para el desarrollo de varias pruebas en la planta, por lo que respecta al funcionamiento continuo de la misma, lo que se ha propuesto como mejoras, se considera que cubre las necesidades mínimas para el funcionamiento automático de la planta.

En conclusión, se han logrado los objetivos para esta tesis, se ha analizado el funcionamiento operativo de una planta potabilizadora, habiéndose encontrado varias anomalías, y se ha propuesto la forma de resolver las mismas.

El planteamiento de las mejoras anteriores a cada una de las secciones que constituyen el proceso de operación de la planta evitará la dependencia total que se tiene de los criterios prácticos con los cuales el personal de la planta maneja la misma, además de que también se evitará el desperdicio de reactivos utilizados para el tratamiento del agua y se logrará un manejo más automatizado de la planta, por lo cual se obtendrá una agua potable con un patrón de calidad y características para consumo humano más elevadas y que no provocarán problemas de salud a las personas a las que se les suministra este líquido.

VII NOMENCLATURA

A	=	Area (m^2)
A_t	=	Area total de filtración (m^2)
B	=	Ordenada al origen
c	=	Masa de partículas depositadas en el filtro por unidad de volumen de filtrado (kg/m^3)
C_u	=	Coefficiente de uniformidad
C_1	=	Costo de galería de filtrado
C_2	=	Costo de la Caja de los filtros
d_m	=	Masa de sólidos en la capa, Kg.
f	=	Fracción del ciclo correspondiente a la formación de la torta
g_c	=	Factor de conversión de la Ley de Newton, $9.80 \text{ m-kg/kg}_f\text{seg}^2$
h_f	=	Pérdida de carga (m)
k_1	=	Constante
K_p	=	Pendiente
L	=	Distancia (m), espesor de lecho sin expandir (m)
L_e	=	Espesor del lecho expandido (m)
m_c	=	Masa total de los sólidos (m)
P	=	Presión (kg/m^2)
P_a	=	Presión de entrada
P_b	=	Presión de salida
ΔP_m	=	Caída de Presión en el medio
P_p	=	Densidad de las partículas (kg/m^3)
P_e	=	Porosidad del medio expandido

p'	=	Presión del fluido en el medio filtrante (Kg/m^2)
Q	=	Caudal tratado ($\text{m}^3/\text{día}$)
R_m	=	Resistencia del medio filtrante (m^{-1})
S	=	Espesor de la capa líquida
s_p	=	Superficie de una partícula (m^2)
S_s	=	Peso específico relativo de los granos del medio (K/m^3)
t	=	Tiempo (seg)
t_c	=	Tiempo total del ciclo en segundos
u	=	Velocidad de filtrado (m/seg)
V	=	Volumen (m^3)
v	=	Velocidad de asentamiento o sedimentación de las partículas del medio filtrante
v_c	=	Masa de sólidos en el filtro (Kg)
v_p	=	Volumen de una partícula (m^3)
V_f	=	Velocidad media de filtración ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$)
v_s	=	Velocidad de lavado
X_i	=	Tanto por ciento de la arena retenida entre dos mallas consecutivas
α_L	=	Resistencia específica de la torta (m/kg)
ϵ	=	Porosidad de la torta
μ	=	Viscosidad del filtrado $\text{kg}/\text{m}\cdot\text{seg}$

BIBLIOGRAFIALIBROS

AUTOR: DEREK B. PURCHAS

TITULO: SOLID/LIQUID Separation Equipment Scale-Up

EDIT. UPLANDS PRESS LTD.

Primera Publicación en 1977

AUTOR: CHRIS A. CLAUSEN III, GUY MATTSON

TITULO: FUNDAMENTOS DE QUIMICA INDUSTRIAL

EDIT. LIMUSA, 1982

AUTOR: WARREN L. McCABLE, JULIAN C. SMITH

TITULO: UNIT OPERATIONS OF CHEMICAL ENGINEERING

EDIT. MCGRAW-HILL KOGAKUSHA LTD. 1980

AUTOR: ROBERT L. SANKS

TITULO: WATER TREATMENT PLANT DESIGN FOR THE PRACTICING ENGINEER

EDIT. ANN ARBOR SCIENCE - 1978

AUTOR: RUSSELL L. CULP, GORDON L. CULP

TITULO: ADVANCED WASTE WATER TREATMENT

EDIT. VAN NOSTER REINHOLD - 1971

AUTOR: RUSELL H. BABCOCK
TITULO: INSTRUMENTACION Y CONTROL DE PLANTAS DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.
EDITORIAL: LIMUSA, 1982.

AUTOR: THE AMERICAN WATER WORKS ASOC.
TITULO: HANDBOOK OF PUBLIC WATER SUPPLIES
EDITORIAL: AMERICAN PUBLISHING CO., 1972.

AUTOR: NICHOLAS P. CHEREMISINOFF
TITULO: LIQUID FILTRATION
EDITORIAL: ANN ARBOR SCIENCE, 1983.

AUTOR: E. STEEL
TITULO: WATER SUPPLY AND SEWERAGE
EDITORIAL: MCGRAW HILL, 1979.

AUTOR: CHRISTOPER R. SCHULZ
SURFACE WATER TREATMENT FOR COMMUNITIES IN
DEVELOPING COUNTRIES.
JOHN WILEY, 1984.

MANUALES

AUTOR: JORGE ARBOLEDA VALENCIA
TITULO: MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS POTABLES
EDITORIAL: PROGRAMA DE EDUCACION DE INGENIERIA SANITARIA, 1969

AUTOR: DR. BOB. A. FREEMAN
TITULO: TRATADO DE MICROBIOLOGIA DE BURROWS
EDITORIAL: NUEVA EDITORIAL INTERAMERICANA.
EDICION: 2/a. EDICION, 1984.

AUTOR: W. A. HARDEWBERGH Y EDWARD B. RODIE
TITULO: INGENIERIA SANITARIA (WATER SUPPLY AND WASTE
DISPOSAL)
EDITORIAL: CECSA. 9/a. EDICION, 1987.

REVISTAS:

CHEMICAL ENGINEERING.

AUTOR: LADISLAV SVARONSKY.
TITULO: SOLID-LIQUID SEPARATION (ADVANCES IN SOLID-LIQUID
SEPARATION.
FECHAS: 2-JUL-79 (PAGS. 63-76) PARTE I;
16-JUL-79 (PAGS. 93-105) PARTE II;
30-JUL-79 (PAGS.69-78) PARTE III.

AUTOR: JOHN KEITH BEDDOW
TITULO: DRY SEPARATION TECHNIQUES.
FECHA: 10 DE AGOSTO DE 1981, PAGINAS 71-84.

AUTOR: DOUGLAS N. MOIR
TITULO: PRESSURE FILTRATION.
FECHA: 26 DE JULIO DE 1982, PAGINAS 47-56.

AUTOR: WILLIAM L. ROOT, III.
TITULO: INDIRECT DRYING.
FECHA: 2 DE MAYO DE 1983, PAGINAS 56-64.

TESIS

AUTOR: ORESTES ALVAREZ SOLANO
FRANCISCO ALVAREZ MORALES SOLANO
TITULO: LA FILTRACION AL VACIO APLICADA A UN PROBLEMA
INDUSTRIAL.
AÑO: UNAM. ENEP.ZARAGOZA, 1988.

AUTOR: ING. GASTON MENDOZA GOMEZ.
TITULO: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, MUNICIPALES,
INDUSTRIALES Y REUSOS.
EDITORIAL: LIMUSA, 1981.

A P E N D I C E I

ECUACIONES

Filtración a presión constante.

Un filtro es un sistema de flujo continuo. Por medio de una diferencia de presión aplicada entre la entrada de la suspensión y la salida del filtrado, se obliga a éste circular a través del aparato. Durante la filtración los sólidos de la suspensión permanecen en el aparato y forman un lecho de partículas, a través del cual tiene que fluir el filtrado. Este pasa a través de tres clases de resistencias en serie: (1) las resistencias de los canales que llevan la suspensión hasta la cara anterior de la torta, y el filtrado desde que sale del medio filtrante, (2) la resistencia correspondiente a la torta y, (3) la resistencia correspondiente al medio filtrante.

Caída de presión a través de la torta.

La figura 2.6 muestra esquemáticamente una sección de una torta y el medio filtrante, al cabo de un tiempo (t en seg) desde el comienzo del flujo filtrado. En este instante el espesor de la torta, medido desde el medio filtrante, es L m. El área del filtro, medida perpendicularmente a la dirección del flujo es A m². Ahora considerese que la capa delgada de torta de espesor dL m que está a una distancia L m del medio filtrante. Sea p kg /m² la presión en este plano. La capa está formada por un lecho delgado de partículas sólidas a través del cual fluye el filtrado. En un lecho

filtrante, la velocidad es suficientemente baja para que el flujo sea laminar. Por lo tanto, para flujo laminar, se tiene la siguiente ecuación para la diferencia de presión a través de la torta.

$$\frac{dp}{dL} = \frac{k_1 u(1 - \epsilon)^2 (s_p/v_p)^2}{g_c \epsilon^3} \quad (2.1)$$

Para partículas de tamaño y forma definidos, distribuídas al azar,

$$k_1 = 4.167$$

La velocidad lineal u está dada por la ecuación

$$u = \frac{dV/dt}{A} \quad (2.2)$$

siendo V el volumen, en m^3 de filtrado recogido desde el comienzo de la filtración hasta el tiempo t . Puesto que el filtrado debe pasar a través de toda la torta V/A es igual para todas las capas, y u es independiente de L .

El volumen de sólidos en la capa es $A(1 - \epsilon)dL m^3$, y si p_p es la densidad de las partículas, la masa dm de sólidos en la capa en Kg, es

$$dm = p_p (1 - \epsilon) A dL \quad (2.3)$$

sustituyendo dL de la ecuación 2.1 en la ecuación 2.3 se tiene

$$dp = \frac{k_1 \mu u (s_p/v_p)^2 (1 - \epsilon) dm}{g_c p_p A \epsilon^3} \quad (2.4)$$

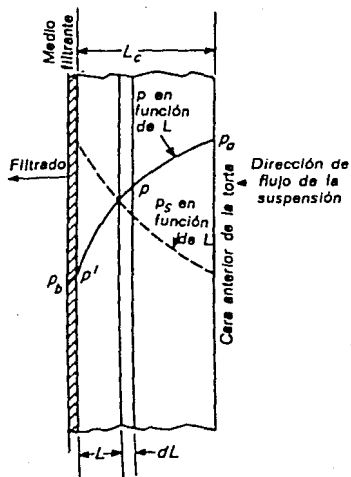


FIGURA 2.6

SECCION DE UNA TORTA Y UN MEDIO FILTRANTE AL CABO DE UN TIEMPO t DESDE EL INICIO DEL FILTRADO.

Tortas compresibles y no compresibles

En algunos casos especiales, por ejemplo, en la filtración con pequeña diferencia de presión, de lodos compuestos de partículas rígidas y uniformes, todos los factores del segundo miembro de la ecuación anterior, excepto m , son independientes de L , y la ecuación puede integrarse directamente para todo el espesor de la torta. Si m es la masa total de sólidos de la torta, el resultado es

$$\int_{p'}^{p_a} dp = - \int_{p_a}^{p'} dp = \frac{k_1 \mu u (s_p/v_p)^2 (1 - \epsilon)}{g_c p_p A \epsilon^3} \int_0^m c_{d_m} \quad 2.5$$

$$p_a - p' = \frac{k_1 \mu u (s_p/v_p)^2 (1 - \epsilon) m_c}{g_c p_p A \epsilon^3} = -\Delta P_c \quad 2.6$$

Las tortas de este tipo se llaman no compresibles.

La mayor parte de los lodos que se encuentran industrialmente no tienen la estructura simple de un lecho de partículas rígidas individuales. Las tortas comunes son una mezcla de aglomerados, o cúmulos, formados por grupos de flujos de partículas muy pequeñas, y las características de resistencia de la torta dependen de las propiedades de los cúmulos más que de la geometría de las partículas individuales. La resistencia de tales sedimentos depende del método empleado en la preparación de la suspensión y de la edad y temperatura del material. También los cúmulos se distorsionan y rompen por las fuerzas que existen en la torta, y los factores ϵ , k y s_p/v_p varían de una capa a otra. Las tortas cuya resistencia varía de ésta forma se llaman tortas compresibles. Aunque la ecuación 2.4 no se aplica exactamente a la tortas compresibles, es una guía útil para desarrollar relaciones empíricas aplicables a tales materiales. Algunas tortas son más compresibles que otras y un tratamiento correcto debe de tener en cuenta una medida cuantitativa de la compresibilidad.

MECANICA DE LAS TORTAS FORMADAS EN LOS FILTROS.

La variación de la resistencia en una torta de una capa a otra, es el resultado de los efectos mecánicos sobre la torta. La presión del fluido en una torta es máxima en la cara anterior y mínima en el medio filtrante. Podría parecer, por consiguiente, que la porosidad de la torta fuera mínima en la cara anterior y máxima en el medio filtrante. En la realidad ocurre siempre lo contrario. Una torta compresible

está relativamente abierta y porosa en la cara anterior y comprimida junto al medio filtrante. La razón de esto es la siguiente: Considérese una partícula del lecho a una distancia L del medio. La corriente de filtrado que pasa alrededor de la partícula ejerce una fuerza de arrastre que tiende a moverla en la dirección del medio filtrante. Este arrastre es contrarrestado por una fuerza igual y opuesta que procede de las partículas que están inmediatamente delante de la partícula considerada. La partícula está afectada también por fuerzas procedentes de las partículas situadas inmediatamente detrás. Puesto que cada capa de sólidos, comenzando por la cara anterior de la torta, transmite su fuerza de arrastre a las partículas que están delante de ellas, las fuerzas de arrastre actúan acumulativamente a lo largo del lecho, y cada capa sufre la acción de una fuerza igual a la suma de los arrastres de todas las que están entre ellas y la cara anterior de la torta. Cada capa transmite este arrastre acumulativo, aumentando con el suyo propio, a la capa siguiente. Estas fuerzas acumulativas pueden convertirse en presiones dividiéndolas por A . Tales presiones se llaman "presiones de compresión". La presión de compresión es 0 en la cara anterior de la torta, donde la presión del fluido es P , y es máxima en el medio filtrante, donde la presión del fluido es p' . A medida que disminuye la presión del fluido, aumenta la presión de compresión. La presión del fluido en un punto dado actúa en todas direcciones, pero la presión de compresión actúa en la dirección paralela a la de flujo y tiende a comprimir y aplastar las partículas.

El arrastre acumulativo en la capa que esta a L m

del medio filtrante es igual a $p_a - p$, que es la caída de presión del fluido en la porción de torta desde la cara anterior hasta el plano L. Se deduce que k_1 , s_p/v_p , y ϵ dependen sólo de $p_a - p$. Es conveniente agrupar todos estos factores que aparecen en la ecuación (2.4) en un sólo término, α_L , denominado resistencia específica local de la torta,

$$\alpha_L = \frac{k_1 (s_p/v_p)^2 (1 - \epsilon)}{\epsilon^3 p_p} \quad (2.7)$$

Este coeficiente depende sólo de $p_a - p$.

La ecuación (2.4) puede escribirse así

$$dp = \frac{\mu u \alpha_L}{g_c A} dm \quad (2.8)$$

Puesto que $d(p_a - p) = -dp$, $dp/\alpha_L = -d(p_a - p)/\alpha_L$, la ecuación anterior puede escribirse

$$\frac{-d(p_a - p)}{\alpha_L} = \frac{\mu u}{g_c A} dm \quad (2.9)$$

Supóngase que se conocen el coeficiente local α_L en función de $p_a - p$, por medio de una ecuación o de una

curva experimental. La ecuación anterior puede integrarse ya sea analítica o gráficamente. Puesto que el efecto de la presión es máximo cuando $m = 0$, los límites son:

cuando $m = m_c$, $p_a - p = 0$ y cuando $m_c = 0$, $p_a - p = p_a - p'$, siendo m_c la masa total de sólidos en la torta. Por lo tanto,

$$- \int_{p_a - p'}^0 \frac{d(p_a - p)}{\alpha_L} = \frac{\mu u}{g_c A} \int_0^{m_c} dm = \frac{\mu m_c}{g_c A} \quad (2.10)$$

Puede definirse un coeficiente medio α para toda la torta, por medio de la ecuación

$$\int_0^{p_a - p'} \frac{d(p_a - p)}{\alpha_L} = \frac{p_a - p'}{\alpha} = \frac{-\Delta p_c}{\alpha} \quad (2.11)$$

En la figura 2.7 se muestra esquemáticamente el área bajo la curva para la integración por métodos gráficos.

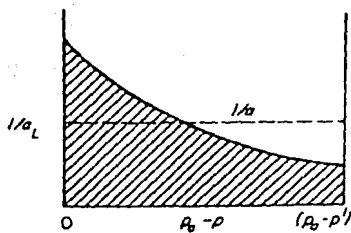


FIGURA 2.7

ILUSTRACION ESQUEMATICA DE UN AREA BAJO
LA CURVA PARA UNA INTEGRACION POR METODOS GRAFICOS

El coeficiente α es el inverso de la ordenada media de la curva de la figura 2.7.

Por lo tanto

$$\frac{p_a - p'}{\alpha} = \frac{-\Delta p_c}{\alpha} = \frac{\mu u_m c}{g_c A} \quad (2.12)$$

La ecuación (2.12) es la ecuación básica para la caída de presión a través de una torta de filtración.

El coeficiente α es la resistencia específica media de la torta. Desde el punto de vista físico corresponde a la diferencia de presión necesaria para dar una unidad de velocidad de flujo de filtrado cuando la viscosidad es la unidad y la torta contiene una unidad de masa de sólido por unidad de área del filtro. Este factor es un valor medio para toda la torta y es preciso medirlo experimentalmente en cada caso. Para una torta dada su valor depende sólo de la caída de presión en la torta. Las dimensiones de α , de acuerdo con la ecuación (2.12) son LM^{-1} y se mide en metros por kilogramo.

Para tortas no compresibles α es independiente de $p_a - p$, y $\alpha_L = \alpha$.

RESISTENCIA DEL MEDIO FILTRANTE.

La resistencia del medio filtrante, R_m , puede definirse, por analogía por la ecuación (2.12), mediante la ecuación

$$\frac{P' - P_b}{R_m} = \frac{-\Delta P_m}{R_m} = \frac{\mu u}{g_c} \quad (2.13)$$

La dimensión de R_m es L^{-1} y las unidades se expresan en m^{-1} .

Se han estudiado los factores que controlan el valor de R_m . Se sabe que la diferencia de presión, y quizá la velocidad del flujo, la afectan y que un medio filtrante viejo y ya usado tiene una resistencia mucho mayor que uno nuevo y limpio. Puesto que generalmente la resistencia del medio solo es importante durante los primeros instantes de filtración, es satisfactorio suponer que R_m es constante durante una filtración dada y determinar empíricamente su valor a partir de datos experimentales. La resistencia del medio filtrante varía un poco de un experimento a otro, incluso con la misma suspensión y el mismo filtro. Cuando R_m se considera como una constante empírica, incluye también cualquier resistencia al flujo que pueda existir en las conducciones hacia y desde el filtro.

De acuerdo con las ecuaciones (2.12) y (2.13)

$$-\Delta P = -\Delta P_c - \Delta P_m = \frac{\mu u}{g_c} \frac{(m_c \alpha + R_m)}{A} \quad (2.14)$$

Desde un punto de vista riguroso, la resistencia de la torta, α , es función de ΔP_c . Durante la etapa más importante de la filtración, cuando la torta tiene un espesor apreciable, $-\Delta P_m$ es pequeño en comparación de $-\Delta P_c$, y

puede despreciarse el efecto que ejerce sobre el valor de α al integrar la ecuación (2.11) para un intervalo $-\Delta P$, en vez de $-\Delta P_c$. Por consiguiente, se toma α en función de ΔP de la ecuación (2.14).

Al emplear la ecuación (2.14) es conveniente expresar u , la velocidad lineal del filtrado, y m_c , la masa total de sólido en la torta, en función del volumen total de filtrado recogido (V) en el tiempo t . La ecuación (2.2) relaciona u con V , y un balance de materia permite relacionar m_c con V . Si c es la masa de las partículas depositadas en el filtro por unidad de volumen de filtrado, en kilogramos por metro cúbico, la masa de sólidos en el filtro en el tiempo t es V_c , de forma que

$$m_c = V_c \quad (2.15)$$

Substituyendo u y m_c en la ecuación (2.14), a partir de la ecuación (2.2) y de la anterior, se obtiene

$$\frac{dt}{dv} = \frac{\mu}{Ag_c(-\Delta P)} \frac{(\alpha V_c + R_m)}{A} \quad (2.16)$$

Una vez definidas las resistencias a través de un lecho filtrante, se describe a continuación lo que es en sí la Filtración a Presión Constante.

Cuando ΔP es constante, las únicas variables en la ecuación (2.16) son V y t . La ecuación puede integrarse en esta forma

$$\int_0^t dt = \frac{\mu}{A g_c (-\Delta P)} \frac{(c \alpha)}{A} \int_0^V V dV + R_m \int_0^V dv \quad (2.17)$$

$$t = \frac{\mu}{g_c (-\Delta P)} \frac{(c \alpha)}{2} \frac{(V)^2}{A} + R_m \frac{V}{A} \quad (2.18)$$

siendo V el volumen total de filtrado, en metros cúbicos, recojido en el tiempo de t seg, suponiendo que el tiempo se cuenta desde el instante en que se obtiene la primera gota del filtrado. De modo que cuando $V = 0$, $t=0$.

La ecuación (2.18) es la de una parábola con el vértice desplazado del origen de coordenadas ($t = 0$, $V = 0$). La representación de V frente a t , para una filtración a presión constante es, por consiguiente, una rama de esta parábola.

Para evaluar las constantes α y R_m para una caída de presión determinada, se necesitan datos experimentales de V frente a t , a dicha presión. El tratamiento de tales datos se facilita mediante la ecuación (2.16), expresada en la forma

$$\frac{dt}{dv} = K_p V + B \quad (2.19)$$

siendo

$$K_p = \frac{c \alpha \mu}{A^2 (-\Delta P) g_c} \quad (2.20)$$

y

$$B = \frac{R_m \mu}{\lambda(-\Delta P) g_c} \quad (2.21)$$

FILTRACION A VOLUMEN CONSTANTE.

En un filtro continuo, como los de tambor giratorio, la alimentación, el filtrado y la torta fluyen con velocidades constantes. Sin embargo, para cualquier elemento particular de la superficie filtrante, las condiciones no son estacionarias, sino transitorias. Por ejemplo, un elemento de la tela filtrante desde el momento en que penetra en el tanque de suspensión hasta que es rescatada para dejarla nuevamente limpia para la filtración. Es evidente que el proceso está formado por varias etapas en serie - formación de la torta, lavado, secado y rascado - y que cada etapa implica un cambio progresivo y continuo de las condiciones. Sin embargo, la diferencia de presión a través del filtro se mantiene constante durante la formación de la torta. Por consiguiente, las ecuaciones anteriores para la filtración discontinua o a presión constante pueden aplicarse, con alguna modificación a filtros continuos.

En la filtración a volumen constante o filtración continua, la resistencia del medio filtrante es casi siempre despreciable en comparación con la resistencia de la torta.

En la ecuación (2.19) por tanto, B es despreciable y puede omitirse. La integración, entre límites adecuados, de la ecuación modificada, conduce a

$$\int_0^t dt = K_p \int_0^V v dv \quad (2.22)$$

de la cual

$$t = \frac{K_p v^2}{2} \quad (2.23)$$

siendo t el tiempo requerido para la formación de la torta. En un filtro continuo t es siempre menor que el tiempo total del ciclo t_c ; la relación entre ambos es

$$t = f t_c \quad (2.24)$$

siendo f la fracción del ciclo correspondiente a la formación de la torta. En un filtro de tambor giratorio f es igual a la fracción de tambor sumergida en la suspensión.

Substituyendo las ecuaciones (2.20) y la anterior en la ecuación (2.23) se obtiene

$$\frac{v}{A} = \frac{[2(-\Delta P) g_c f t_c]^{1/2}}{c \alpha \mu} \quad (2.25)$$

Dividiendo por t ambos miembros de la ecuación (2.25) se obtienen la velocidad media de flujo de filtrado por unidad de área,

$$\text{Velocidad} = \frac{v}{A t_c} = \frac{[2(-\Delta P) g_c f]^{1/2}}{c \alpha \mu t_c} \quad (2.26)$$

Si la resistencia específica de la torta varía con la diferencia de presión, puede modificar la ecuación anterior para dar

$$\frac{v}{A t_c} = \frac{[2(-\Delta P)^{1-s} g_c f]^{1/2}}{c \alpha_0 \mu t_c} \quad (2.27)$$

La ecuación (2.27) se aplica a los filtros continuos tanto de vacío como de presión. Esta ecuación predice que la velocidad de flujo de filtrado es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la viscosidad y del tiempo del ciclo. Estas predicciones han sido comprobadas experimentalmente.

APENDICE II

CLASIFICACION DE LAS AGUAS DE LOS CUERPOS SUPERFICIALES EN FUNCION DE SUS USOS Y CARACTERISTICAS DE CALIDAD

Clase	Usos	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
		Temperatura (°C)	O.D. (mg/l)	Bacterias Coliformes MPN (Organismos/100 ml)	Acidos y Grasas (mg/l)	Sólidos Disueltos (mg/l)	Turbiedad (U.T.U.)	Color (Escala Platino-Cobalto)	Olor y Sabor	Nitratos (mg/l) y Nítrito	Materia Flotante	Substancias Tóxicas	
			Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo		
	Abastecimiento para sistemas de agua potable a industria alimentaria con desinfección únicamente Recreación (contacto breve) y libre para los usos DI, DII y DIII.	6,5 a 1,5	C.N. a 2,5 (a)	4,0	200 totales (b)	0,70	No mayor de 1000	10	20	Ausente	(c)	Ausente	(d)
DI	Abastecimiento de agua potable sin tratamiento en viviendas, escuelas, filitración y distribución industrial.	6,8 a 9,8	C.N. a 2,5 (a)	4,0	1000 totales (b)	1,0	No mayor de 1000	C.N.	(f)	(g)	(e)	Ausente	(d)
DII	Agua apta para uso rústico, sin servidumbre pública y uso industrial.	6,8 a 9,0	C.N. a 2,5 (a)	4,0	10.000 coliformes totales (c) promedio mensual, ningún valor mayor de 10.000 (b)	Ausente o de poca visibilidad	No mayor de 2000	C.N.	C.N.	C.N.	(e)	Ausente	(d)
DIII	Agua para uso agrícola o industrial.	6,0 a 9,0	C.N. a 1,5 (a)	3,7	1000 (f) y litro para los demás cultivos	Ausente o de poca visibilidad	(h)	C.N.	C.N. a 10	(e)	Ausente	(d)	
DIV	Agua para uso industrial (excepto procesamiento de alimentos)	5,0 a 9,5		3,7									

pH = Potencial hidrógeno
 O.D. = oxígeno disuelto
 N.M.P. = Número más probable

U.T.U. = unidades de turbiedad Jackson
 mg/l = miligramos por litro

C.N. = Condiciones naturales
 °C = Grados centígrados