



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

"ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO,
TRATAMIENTO Y DISPOSICION FINAL
DE LOS LODOS GENERADOS EN LAS
PLANTAS POTABILIZADORAS EN MEXICO"

TESIS PROFESIONAL

que para obtener el título de

INGENIERO CIVIL

presenta

Adriana/Palma Nava

Director de Tesis

M. I. Baltazar Lucero Ramírez



Ciudad Universitaria, D.F., 1996.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Señorita
ADRIANA PALMA NAVA
Presente.

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-140/94

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **M.I. BALTAZAR LUCERO RAMIREZ**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

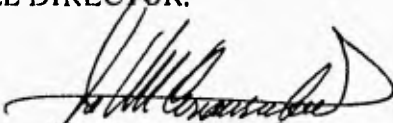
"ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO, TRATAMIENTO Y DISPOSICION FINAL DE LOS LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS POTABILIZADORAS EN MEXICO"

- I . INTRODUCCION
- II . OBJETIVOS Y ALCANCES
- III. SITUACION ACTUAL DE LA POTABILIZACION DEL AGUA EN MEXICO
- IV . IMPACTO AMBIENTAL POR LA DESCARGA DE LOS LODOS SIN TRATAMIENTO
- V. METODOLOGIA PARA EL MANEJO, TRATAMIENTO Y DISPOSICION FINAL DE LOS LODOS
- VI. ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO, TRATAMIENTO Y DISPOSICION FINAL DE LOS LODOS EN ESTUDIO
- VII. CONCLUSIONES
- VIII. BIBLIOGRAFIA
- IX. ANEXOS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 7 de agosto de 1994.
EL DIRECTOR.


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

pl. JMCS/RCR*nl1

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Ingeniería, donde pude forjar mi meta. A todos mis profesores que me transmitieron sus experiencias y conocimientos, especialmente al M.I. Baltazar Lucero Ramírez, por creer en mí y quien gracias a su apoyo y paciencia lleve a termino este trabajo.

DEDICATORIA

A mi madre por su amor y sacrificios de toda su vida, quien me ha guiado y amado como nadie podrá jamás, quien llena mi vida y por quien anhelo superarme.

A mi papá Oscar por sus consejos y cariño.

A mis hermanas Angélica y Rebeca, por su apoyo y amor.

A mi sobrina Zayra, quien llena nuestras vidas de felicidad, a quien admiro por su inteligencia y en quien tengo todas mis esperanzas.

A la familia Palma por todo su apoyo, especialmente a mi tía Ana María Palma quien con sus consejos me ayudo a seguir por el buen camino y quien más que nadie ha creído en mí.

A la familia Nava por tanto cariño, especialmente a mi tía María Eugenia Nava por ser una amiga para mí, por su apoyo, cariño y a quien admiro por sus ganas de ser mejor cada día.

A Claudia Hernández mi siempre amiga, por ser incondicional y ayudarme en los momentos más difíciles.

A Cuauhtémoc Luis por enseñarme a vivir y a conocer la felicidad.

A todas las personas que de alguna manera me han ayudado a realizar esta meta.

CONTENIDO

| | PAGINA |
|--|--------|
| I. INTRODUCCION. | 1 |
| II. OBJETIVOS Y ALCANCES | 2 |
| III. SITUACION ACTUAL DE LA POTABILIZACION DEL AGUA EN MEXICO | 3 |
| III.1 Infraestructura de tratamiento | 3 |
| III.2 Operación de los sistemas de potabilización | 9 |
| III.3 Manejo actual de los residuos de la potabilizacion del agua | 12 |
| IV. METODOLOGIAS PARA EL MANEJO, TRATAMIENTO Y DISPOSICION DE LOS LODOS | 17 |
| IV.1 Tipos de lodos. | 17 |
| IV.2 Caracterización | 19 |
| IV.3 Metodologias de tratamiento y disposicion de lodos | 23 |
| V. ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO, TRATAMIENTO Y DISPOSICION FINAL DE LODOS EN MEXICO | 40 |
| V.1 Cuantificación de lodos | 40 |
| V.2 Alternativas de solución | 41 |
| VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 51 |
| VI.1 Conclusiones | 51 |
| VI.2 Recomendaciones | 51 |
| BIBLIOGRAFIA | 53 |
| ANEXOS | 54 |
| ANEXO 1. Procesos de potabilización del agua empleados en el país | 55 |
| ANEXO 2. Cuantificación de lodos | 64 |

LISTA DE FIGURAS

| | PAGINA |
|---|---------------|
| 3.3 Tratamiento Convencional o Clarificación Completa. | 7 |
| 3.4 Ablandamiento. | 8 |
| 4.2 Operaciones y Procesos para el manejo, tratamiento y disposición final de los lodos. | 24 |
| 4.3 Planta y Corte de un Espesador Convencional. | 26 |
| 4.4 Corte y Zonas de Operación de un Filtro Rotatorio al Vacío. | 28 |
| 4.5 Vista lateral de un Filtro Prensa. | 30 |
| 4.6 Filtro Prensa Horizontal de Bandas. | 31 |
| 4.7 Planta y Corte de un Lecho de Secado. | 33 |
| 4.8 Esquema de una Centrifuga Convencional. | 34 |
| 4.9 Cama de Congelamiento. | 36 |
| 5.2 Tren de tratamiento para lodos. | 42 |
| 5.3 Tren de tratamiento para lodos para plantas grandes. | 43 |
| 5.4 Tren de tratamiento para lodos para plantas pequeñas. | 44 |
| 5.5 Alternativa (A) para agua de lavado en filtros. | 46 |
| 5.6 Alternativa (B) para agua de lavado en filtros, plantas grandes. | 48 |
| 5.7 Alternativa (C) para agua de lavado en filtros, plantas pequeñas. | 49 |
| 5.8 Mejor alternativa de tratamiento para lodos y agua de lavado en filtros, según la situación y recursos de México. | 50 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| 3.1 Inventario de Plantas Potabilizadoras. | 5 |
| 3.2 Plantas Potabilizadoras por Proceso. | 6 |
| 3.5 Límites permisibles de Calidad de Agua. Norma Oficial Mexicana. | 10 |
| 3.6 Concentraciones de algunos parámetros de corrientes superficiales y lodos de Aluminio. | 13 |
| 3.7 Principales características de algunas Plantas Potabilizadoras. | 16 |
| 4.1 Principales características de lodos de Aluminio y agua de lavado en filtros | 22 |
| 5.1 Cuantificación de los lodos en las Plantas Potabilizadoras de México. | 40 |
| 5.4 Ventajas y desventajas de los procesos empleados en el tratamiento de lodos. | 45 |

CAPITULO I

INTRODUCCION

El crecimiento económico en las últimas décadas ha sido alto y rápido. Este desarrollo se ha efectuado utilizando en exceso los recursos naturales, renovables y no renovables, y generando residuos e impactos al medio ambiente, que ahora es preciso corregir. Se debe evitar también que las actividades futuras ocasionen un mayor deterioro en nuestro entorno, adoptando las medidas preventivas necesarias. Por lo tanto es necesario hacer un uso racional de los recursos naturales, tanto de los renovables como los no renovables y prestar una atención especial al agua y al recurso tierra.

El agua tal como la encontramos en la naturaleza necesita de un acondicionamiento para su consumo humano ya que a su paso por el suelo, por la superficie de la tierra e incluso a través del aire se contamina por medio de materias en suspensión ó en solución, tales como: partículas de arcilla, residuos de vegetación, organismos vivos (virus, bacterias, plancton), sales diversas (cloruros, sulfatos, carbonatos de sodio, calcio, hierro, manganeso...), materias orgánicas (ácidos húmicos, fúlvicos, residuos de fabricación) y gases. La presencia de esta gran variedad de impurezas exige el tratamiento de las aguas antes de su utilización.

El tratamiento sin embargo trae siempre como consecuencia la formación de residuos que, normalmente no pueden devolverse a la naturaleza en el estado en que se obtienen. Esos residuos deben someterse a un tratamiento con el fin de reducir su volumen y su concentración de contaminantes para así disponer mejor convenga de estos sin causar daños a la naturaleza y por consiguiente a la salud pública. A estos residuos cualquiera que sea su naturaleza se les denomina comunmente "lodos".

En la potabilización del agua dichos residuos pueden ser de dos tipos, los que se generan en la sedimentación denominados como "lodos químicos" y el agua de lavado en filtros, estos subproductos están constituidos principalmente por materiales inertes. Son considerables las cantidades de lodos y agua de lavado en filtros que se generan actualmente en México, por lo que se debe enfatizar la importancia del vertido inadecuado de estos subproductos al suelo o a cuerpos hidráulicos receptores descargando contaminantes al ambiente y afectando indirectamente la salud humana, violando lo establecido en la legislación Ambiental.

En esta tesis se expone la situación actual en México del manejo de los lodos generados en la potabilización del agua y se proponen las alternativas para el adecuado manejo, tratamiento y disposición de estos residuos.

CAPITULO II

OBJETIVOS Y ALCANCES

Esta tesis tiene los siguientes objetivos:

- Hacer un análisis de la situación actual en México respecto al manejo y disposición de lodos que se generan en las Plantas de Tratamiento de Agua Potable.
- Identificar los principales efectos al medio ambiente por la disposición de lodos sin tratamiento previo.
- Proponer métodos para el tratamiento y disposición de los lodos de acuerdo a la realidad nacional respecto a nuestras condiciones técnicas y socio-económicas.
- Enfatizar la necesidad de una nueva política de disposición de los subproductos en estudio, que cumpla con la legislación ambiental vigente.

A continuación se mencionan los alcances de esta investigación:

- Recopilar información de la situación actual de la potabilización en México.
- Estimar en forma preliminar la cantidad de lodos generados en las plantas de tratamiento de agua potable en el país.
- Proponer alternativas reales para el manejo, tratamiento y disposición de los lodos generados en la potabilización del agua en México.

CAPITULO III

SITUACION ACTUAL DE LA POTABILIZACION DEL AGUA EN MEXICO

III.1 INFRAESTRUCTURA DE TRATAMIENTO.

El suministro de agua de buena calidad en los sistemas de abastecimiento es de fundamental importancia para la salud y bienestar de la población usuaria, por tal motivo es importante la potabilización como medio para proporcionar un agua limpia, agradable y segura.

México puede considerarse un país con experiencia en la potabilización del agua. Desde la búsqueda de fuentes cristalinas y puras, hasta el uso de utensilios para filtrar el agua de bebida, son acciones precortesianas de las que se habla en las crónicas antiguas, ya como sistemas formales de purificación y construcción. Desde el año de 1906 existe en México la primera planta potabilizadora con capacidad de 50 litros por segundo (lps) y en 1915 se instala otra para 125 lps, ambas con proceso de clarificación convencional.

Como consecuencia de problemas sociales, políticos y económicos que sufre el país, entre esa fecha y hasta 1950 son relativamente pocas las nuevas obras destinadas a potabilización que se llevan a cabo. Sin embargo, las obras realizadas fueron muy importantes para su tiempo.

Es a partir de los cincuentas y sobre todo durante los sesentas, cuando se construye la mayor parte de las potabilizadoras que operan actualmente, con la particularidad de que en muchas de ellas se implementó la desinfección del agua como parte del proceso.

En la Tabla 3.1 se presenta un inventario de las plantas potabilizadoras por estado, de acuerdo a las plantas construidas y a su caudal de operación. En Diciembre de 1995, se reportaban en el país 300 plantas potabilizadoras municipales, de las cuales funcionaban 233 (77.67%), procesando un total de 74,000 lps.; se encontraban fuera de operación 67 plantas (22.33%), con una capacidad instalada de 2,600 lps.

En el periodo de 1989-1994 se construyeron y entraron en operación 24 nuevas potabilizadoras, con una capacidad global de 14,750 lps. Asimismo, se rehabilitaron 14 plantas, construidas anteriormente y que funcionaban con baja eficiencia, con lo que se incrementó la capacidad de producción en 7,290 lps, resultando un incremento total de 22,040 lps, además de mejorarse la calidad del agua potable (1996).

Durante el año de 1995, debido a la crisis económica que afectó al país, los recursos fueron limitados, cerrándose toda cartera de proyectos, es por esto que no se reporta algún avance en ese año.

Se puede apreciar que el mayor caudal se obtiene en el Edo. de México con un valor de 14,725 lps, generado tan solo en 4 plantas. Este caudal

representa el 19.89% del total, esto se debe a que son plantas que abastecen a la Ciudad de México y zona conurbada, lo cual demanda un gran caudal.

De acuerdo a la calidad del agua, tipo de fuente de abastecimiento, y a las necesidades y recursos de cada región, se establece el proceso de potabilización. En la Tabla 3.2 se presenta un inventario de las plantas potabilizadoras por proceso.

Los procesos unitarios de potabilización más comúnmente utilizados en México son: aereación, ablandamiento, mezclado, coagulación, floculación, desalación, desferrización, desmineralización y desinfección, estos procesos se describen en el Anexo de esta tesis. Aunque la potabilización del agua puede realizarse en ocasiones empleando un solo proceso (i.e., desinfección), las plantas potabilizadoras generalmente están constituidas por diversos procesos conectados ya sea en serie o en paralelo. A ese conjunto o sistema de procesos se le denomina comúnmente "Tren de Tratamiento". Los dos trenes de tratamiento más utilizados son el de Ablandamiento y Clarificación Completa (o convencional). Es evidente que el proceso relevante y significativo es el convencional o de clarificación completa, que representa el 72.10% del total del caudal de operación en el país. El tren convencional de tratamiento o Clarificación Completa (CC) consta normalmente de dosificación y mezclado de productos químicos, floculación, coagulación, sedimentación, filtración y desinfección. El Ablandamiento consta de los mismos procesos que el tren convencional más un proceso adicional denominado recarbonatación.

La diferencia básica entre ambos trenes de tratamiento es que el primero (CC) se utiliza principalmente para remover color y turbiedad, el segundo (Ablandamiento) es utilizado para remover los iones de calcio y magnesio en el agua (dureza). En las Figuras 3.3 y 3.4 se presentan los diagramas de flujo de cada uno de esos trenes de tratamiento. Información adicional es presentada en el Anexo.

TABLA 3.1
INVENTARIO DE PLANTAS POTABILIZADORAS

| PLANTAS CONSTRUIDAS | | | | |
|-----------------------|------------|-----------------|-----------|----------------|
| ESTADO | OPERAN | | | |
| | SI | GASTO | NO | GASTO |
| AGUASCALIENTES | 1 | 10.0 | 1 | 0.9 |
| BAJA CALIFORNIA NORTE | 19 | 5,210.0 | 2 | 484.0 |
| BAJA CALIFORNIA SUR | 0 | 0.0 | 1 | 0.1 |
| CAMPECHE | 2 | 383.0 | 0 | 0.0 |
| COAHUILA | 3 | 1,000.0 | 0 | 0.0 |
| COLIMA | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| CHIAPAS | 3 | 1,910.0 | 1 | SIN DATO |
| CHIHUAHUA | 3 | 540.0 | 1 | 150.0 |
| DISTRITO FEDERAL | 6 | 696.0 | 0 | 0.0 |
| DURANGO | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| GUANAJUATO | 2 | 310.0 | 0 | 0.0 |
| GUERRERO | 6 | 2,415.0 | 1 | 200.0 |
| HIDALGO | 2 | 100.0 | 0 | 0.0 |
| JALISCO | 16 | 12,979.0 | 1 | 50.0 |
| MEXICO | 4 | 14,725.0 | 2 | 15.0 |
| MICHOACAN | 2 | 780.0 | 1 | 8.0 |
| MORELOS | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| NAYARIT | 3 | 120.0 | 0 | 0.0 |
| NUEVO LEON | 11 | 5,934.7 | 1 | 25.0 |
| OAXACA | 6 | 701.3 | 0 | 0.0 |
| PUEBLA | 0 | 0.0 | 3 | 60.0 |
| QUERETARO | 2 | 25.0 | 0 | 0.0 |
| QUINTANA ROO | 5 | 872.0 | 2 | 150.0 |
| SAN LUIS POTOSI | 7 | 803.5 | 2 | 70.0 |
| SINALOA | 67 | 4,611.0 | 18 | 283.0 |
| SONORA | 5 | 2,700.0 | 2 | 20.0 |
| TABASCO | 12 | 2,570.0 | 0 | 0.0 |
| TAMAULIPAS | 37 | 8,843.0 | 14 | 284.0 |
| TLAXCALA | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| VERACRUZ | 7 | 4,090.0 | 1 | SIN DATO |
| YUCATAN | 2 | 1,700.0 | 8 | 745.0 |
| ZACATECAS | 0 | 0.0 | 5 | 42.0 |
| NACIONAL | 233 | 74,028.5 | 67 | 2,587.0 |

* Fuente: Comisión Nacional del Agua, 1996.

**TABLA 3.2
PLANTAS POTABILIZADORAS POR PROCESO**

| ESTADO | AB | AF | CA | DE | DF | FD | FL | CC | TOTAL |
|-----------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|------------|------------|
| AGUASCALIENTES | | | | | | | | 2 | 2 |
| BAJA CALIFORNIA NORTE | | | | | | 4 | | 18 | 22 |
| BAJA CALIFORNIA SUR | | | | 1 | | | | | 1 |
| CAMPECHE | 2 | | | | | | | | 2 |
| COAHUILA | | | | | | | | 3 | 3 |
| COLIMA | | | | | | | | | 0 |
| CHIAPAS | | | | | | | | 4 | 4 |
| CHIHUAHUA | | | | | | | | 4 | 4 |
| DISTRITO FEDERAL | | 2 | | | | 1 | | 3 | 6 |
| DURANGO | | | | | | | | | 0 |
| GUANAJUATO | | | | | | | | 2 | 2 |
| GUERRERO | | | | | | | 2 | 8 | 10 |
| HIDALGO | | | | | | | | 2 | 2 |
| JALISCO | | | 1 | | | | | 16 | 17 |
| MEXICO | | | | | 2 | | | 5 | 7 |
| MICHOACAN | | | | | | | | 3 | 3 |
| MORELOS | | | | | | | | | 0 |
| NAYARIT | | | | | | | | 3 | 3 |
| NUEVO LEON | | | | | | 3 | 2 | 7 | 12 |
| OAXACA | | | | | 2 | 1 | | 3 | 6 |
| PUEBLA | 1 | | | | | | 1 | 1 | 3 |
| QUERETARO | | | | | | | | 2 | 2 |
| QUINTANA ROO | 6 | | | 1 | | | | | 7 |
| SAN LUIS POTOSI | | | | | | 1 | | 9 | 10 |
| SINALOA | | | | | | 4 | 32 | 50 | 86 |
| SONORA | | | 2 | | | | | 5 | 7 |
| TABASCO | | | | | | | | 12 | 12 |
| TAMAULIPAS | | | | | | 5 | | 47 | 52 |
| TLAXCALA | | | | | | | | | 0 |
| VERACRUZ | | | | | | | | 8 | 8 |
| YUCATAN | 9 | | | | | | | 2 | 11 |
| ZACATECAS | | | | 2 | | | | 3 | 5 |
| NACIONAL | 18 | 2 | 3 | 4 | 4 | 19 | 36 | 228 | 314 |

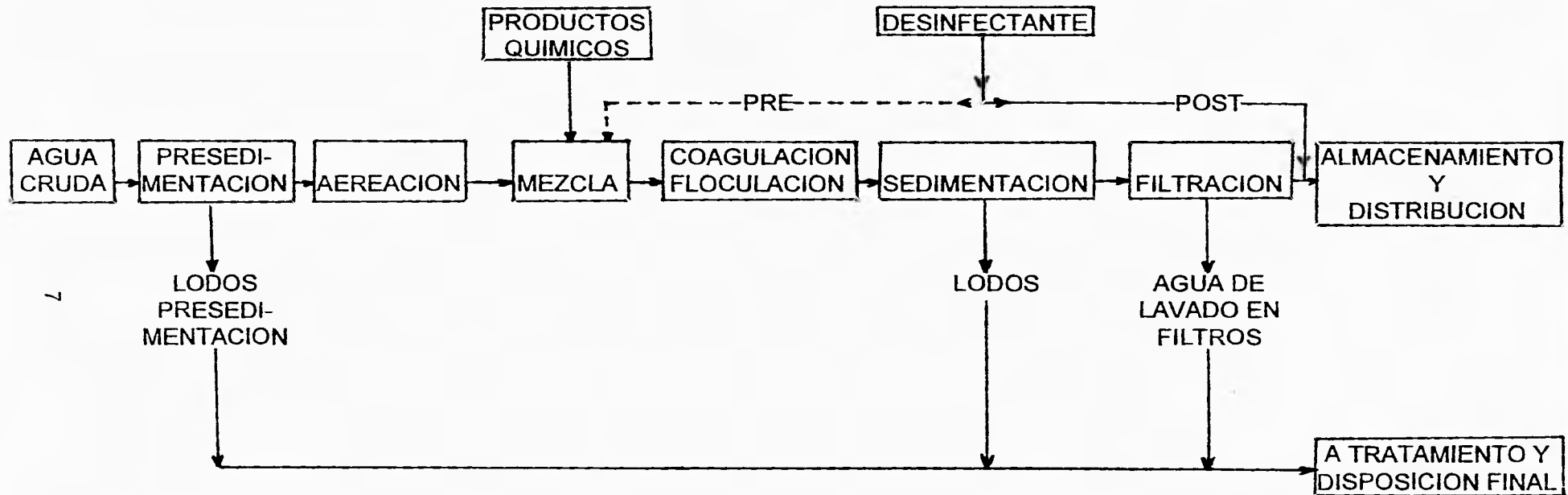
SIMBOLOGIA:

- AB = ABLANDAMIENTO
- AF = AEREACION Y FILTRACION
- CA = CLARIFICACION Y ABLANDAMIENTO
- DE = DESALADORA
- DF = DESFERRIZADORA
- FD = FILTRACION DIRECTA
- FL = FILTROS LENTOS
- CC = CLARIFICACION COMPLETA

NO INCLUYE PLANTAS EN PROYECTO

* Fuente: Comisión Nacional del Agua, 1996.

FIGURA 3.3 TRATAMIENTO CONVENCIONAL O CLARIFICACION COMPLETA.*

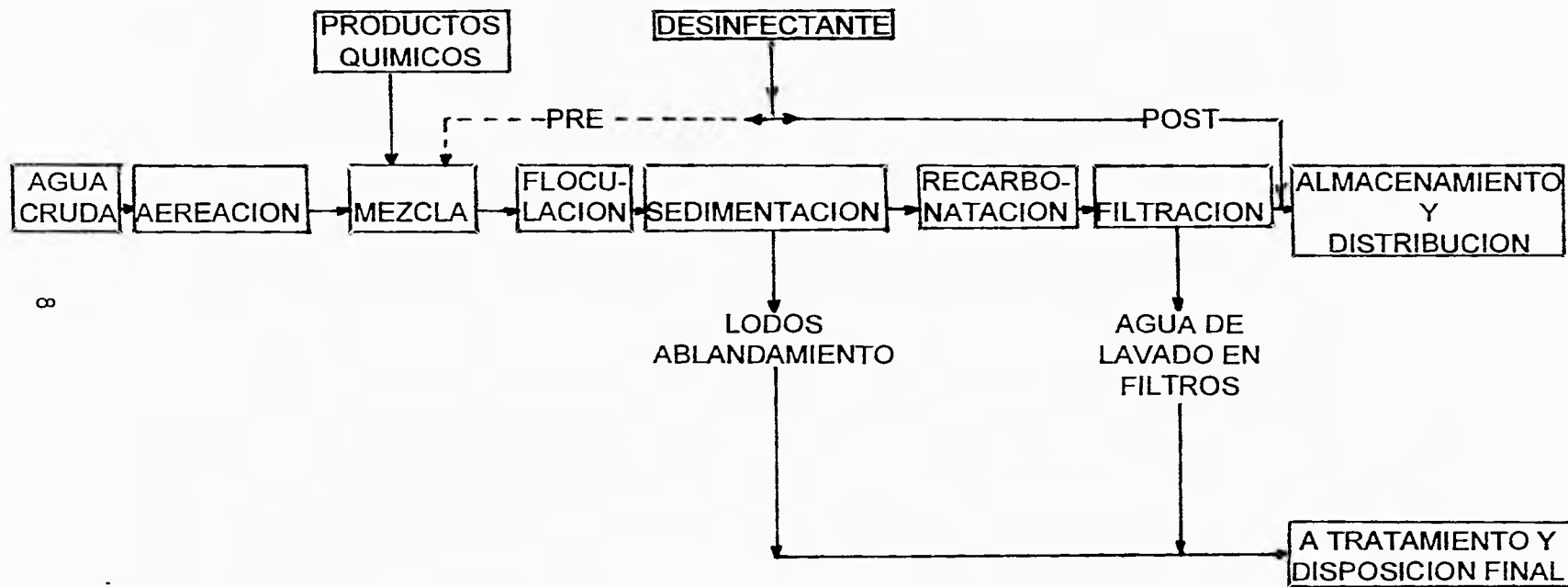


SIMBOLOGIA:

* ADAPTADO DE SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS (SAHOP), 1979.

----- OPCIONAL

FIGURA 3.4 ABLANDAMIENTO.*



SIMBOLOGIA:

* ADAPTADO DE SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS (SAHOP), 1979.

----- OPCIONAL

III.2 OPERACION DE LOS SISTEMAS DE POTABILIZACION.

En México la incidencia relativamente alta de enfermedades infecciosas a través del agua, tales como las fiebres tifoidea y paratifoidea, disentería basilar, cólera y disentería amibiana cobra un alto número de víctimas; particularmente esto se refleja en una mortalidad infantil alta. Por lo tanto, ya que las enfermedades entéricas son el mayor riesgo para la salud proveniente del agua potable en el país, las normas de calidad del agua y el propio tratamiento se enfocan a la calidad microbiológica de ésta. En el agua también se encuentran diversos componentes químicos orgánicos tales como, hidrocarburos clorados (por ejemplo: trihalometanos), pero para detectar algún efecto crónico se requieren de muchas décadas de exposición a dichos compuestos.

En Agosto de 1994 se realizaron modificaciones a los límites permisibles de calidad del agua dentro de la Norma Oficial Mexicana, en la Tabla 3.5 se muestra un esquema comparativo de los valores anteriores y los actuales además se agregaron otros parámetros no contemplados en el anterior. Anteriormente las fuentes de abastecimiento en el país cumplían con las Normas vigentes, necesitando en muy pocos casos someter el agua a tratamientos complejos, debido a que los valores eran muy altos; por ejemplo el cambio en los parámetros de color y turbiedad trae consigo modificaciones en el control y desarrollo de los procesos de tratamiento del agua para que esta cumpla con la norma. En general podemos observar que las modificaciones de los parámetros aunque no son radicales son significativas dentro de la potabilización, esperando que con esto se refuerce la tecnología y el desarrollo de la potabilización en el país.

Respecto a la operación de las plantas no se ha logrado alcanzar el debido desarrollo a causa de problemas económicos, técnicos y sociales. Han surgido problemas ya sea por fallas en los diseños o porque las tecnologías que se aplican no son siempre las más adecuadas; pero los problemas más graves estriban en la falta de capacidad de servicio por parte de la gran mayoría de las empresas tenedoras de las tecnologías. Hay plantas que se construyeron y jamás llegaron a operar con su diseño original, pues debido a errores en el mismo tuvieron que modificarse para que funcionaran; en otras la tecnología que se había aplicado no correspondía a la realidad sociocultural existente y pronto se desincorporaron, o bien fueron abandonadas las partes sofisticadas y complejas, sin tomar en cuenta que con ello se estaba afectando elementos básicos para el buen funcionamiento del sistema.

Otro problema es la falta de capacitación del personal encargado de la operación, que desconoce hasta lo más elemental del sistema y de los procesos que lo integran, el cómo y el por qué de las labores que debe desempeñar ante diversas circunstancias que se presentan, y no dispone de manuales ni guías para la operación del sistema.

A conclusión las plantas potabilizadoras en el país demandan más recursos y atención por parte de los organismos correspondientes, ya que su operación es deficiente.

TABLA 3.5
LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD DE AGUA
NORMA OFICIAL MEXICANA

| CARACTERISTICAS | PARAMETRO | LIMITE PERMISIBLE ACTUAL (AGOSTO 1994) | LIMITE PERMISIBLE ANTERIOR (ENERO 1988) |
|---|---|---|---|
| QUIMICA | Los límites se expresan en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad. | | |
| | Aluminio | 0.20 | 0.20 |
| | Arsénico | 0.05 | 0.05 |
| | Bario | 0.70 | 1.00 |
| | Cadmio | 0.005 | 0.005 |
| | Cianuros (como CN ⁻) | 0.07 | 0.05 |
| | Cloro residual libre | 0.5-01.00 (después de un tiempo de contacto mínimo de 30 min) | 0.2-01.00 (después de un tiempo de contacto mínimo de 30 min) |
| | Cloruros (como Cl ⁻) | 250.00 | |
| | Cobre | 2.00 | 1.50 |
| | Cromo total | 0.05 | 0.05 |
| | Dureza total (como CaCO ₃) | 500.00 | 300.00 |
| | Fenoles o compuestos fenólicos | 0.001 | 0.001 |
| | Hierro | 0.30 | 0.30 |
| | Fluoruros (como F ⁻) | 1.50 | 1.50 |
| | Fosfatos (como PO ₄ ⁼) | 0.10 | |
| | Manganeso | 0.10 | 0.15 |
| | Mercurio | 0.001 | 0.001 |
| | Nitratos (como N) | 10 | 5 |
| | Nitritos (como N) | 0.05 | 0.05 |
| | Nitrógeno amoniacal (como N) | 0.5 | 0.1 |
| | Oxígeno consumido en medio ácido | 3 | 3 |
| | pH (potencial de hidrógeno) en unidades pH | 6.5-8.5 | 6.0-8.5 |
| | Plaguicidas en microgramos/l Aldrin y dieldrin (separados o combinados) | 0.03 | |
| | Clordano (total de isómeros) | 0.3 | |
| | DDT (total de isómeros) | 1 | |
| | Gamma-HCH (lindano) | 2 | |
| | Hexaclorobenceno | 0.01 | |
| | Heptacloro y epóxido de heptacloro | 0.03 | |
| | Metoxicloro | 20.00 | |
| | 2,4 - D | 50.00 | |
| | Plomo | 0.025 | 0.050 |
| | Sodio | 200.00 | |
| | Sólidos disueltos totales | 1000.00 | |
| Sulfatos (como SO ₄ ⁼) | 400.00 | 250.00 | |
| Sustancias activas al azul de metileno | 0.50 | 0.50 | |
| Trihalometanos totales | 0.20 | | |
| Zinc | 5.00 | 5.00 | |

Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y disueltos.

TABLA 3.5
LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD DE AGUA
NORMA OFICIAL MEXICANA

| CARACTERISTICAS | PARAMETRO | LIMITE PERMISIBLE ACTUAL (AGOSTO 1994) | LIMITE PERMISIBLE ANTERIOR (ENERO 1988) |
|--|---|---|---|
| RADIATIVAS | Los límites se expresan en Bq/l (Bequerel por litro). | | |
| | Radiactividad alfa global | 0.10 | |
| | Radiactividad beta global | 1.00 | |
| BACTERIOLOGICAS | Organismos coliformes totales | 2 NMP/100 ml 2 UFC/100 ml | 2 NMP/100 ml 2 UFC/100 ml |
| | Organismos coliformes fecales | No detectable NMP/100 ml Cero NMP/100 ml | No detectable NMP/100 ml Cero NMP/100 ml |
| Los resultados de los exámenes bacteriológicos se deben reportar en unidades de NMP/100 ml (número más probable o UFC/100 ml), si se utiliza la técnica del número más probable o UFC/100 ml (unidades formadoras de colonias por 100 ml), si se utiliza la técnica de filtración de membrana. | | | |
| FISICAS Y ORGANO- LEPTICAS | Color | 15 unidades de color verdadero en la escala de platino cobalto | 20 unidades de color verdadero en la escala de platino cobalto |
| | Olor y sabor | Agradable (se aceptarán aquéllos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico) | Característico |
| | Turbiedad | 5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método | 10 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método |

III.3 MANEJO ACTUAL DE LOS RESIDUOS DE LA POTABILIZACION DEL AGUA Y PRINCIPALES EFECTOS EN EL AMBIENTE.

Como puede observarse en las Figuras 3.3 y 3.4 en el de tratamiento de clarificación completa se producen básicamente tres tipos de residuos: lodos de presedimentación, lodos del tanque de sedimentación y agua de lavado en filtros (en el capítulo siguiente se describirán las características de cada uno de estos). En el país los métodos de disposición para los residuos son limitados. A continuación se presentan las diferentes alternativas existentes en el país y la normatividad vigente que concierne al método empleado.

Descarga directa a cuerpos receptores.

Esta es la forma de disposición más usada en México. La descarga incluye tanto las purgas de los clarificadores, como la corriente de agua de lavados en filtros. En las plantas construidas recientemente esta descarga ha disminuido significativamente en volumen y no tanto en masa, al recircularse el agua de lavado en filtros al influente de la planta. La razón de esta recirculación ha sido la recuperación del agua, no el control de la contaminación del cuerpo receptor.

De acuerdo con la legislación mexicana vigente para poder realizar una descarga a un cuerpo receptor se requiere permiso de descarga de la Comisión Nacional del Agua. Este permiso incluye las condiciones particulares de descarga.

Las condiciones particulares de descarga se determinan en base a los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, a los usos del cuerpo receptor, y a las características de gasto y calidad del agua del cuerpo receptor.

Las condiciones se determinan de tal forma que las características de calidad del cuerpo receptor con la incorporación de la descarga no sobrepasen los Criterios Ecológicos para el uso del agua en el cuerpo receptor.

Las concentraciones reportadas de algunos parámetros de lodo de sulfato de aluminio se presentan en la Tabla 3.6, comparados con los valores de las condiciones particulares de descargas típicas.

La alta concentración de hierro se debe a las impurezas del sulfato de aluminio que se utiliza como coagulante.

De acuerdo a los valores presentados en esta tabla, la descarga de lodos de plantas potabilizadoras o del agua de retrolavado a los cuerpos receptores no puede realizarse sin tratamiento previo.

Descarga al sistema de alcantarillado.

Este método de disposición se utiliza en el país cuando la planta potabilizadora se encuentra dentro del área urbana, ya que es la solución más sencilla. Sin embargo el gasto de los lodos debe igualarse para no sobrecargar las atarjeas del alcantarillado, además de que las purgas de los clarificadores pueden ser muy espesas. Si se instala un tanque de balance la descarga se puede hacer de manera que no se sobrecarge el sistema de alcantarillado.

TABLA 3.6 CONCENTRACIONES DE ALGUNOS PARAMETROS DE CORRIENTES SUPERFICIALES Y LODOS DE ALUMINIO.

| Uso del cuerpo receptor | Concentración máxima | | | |
|--|--|----------------|-------------------|-------------------------------------|
| | Aluminio mg/l | Fierro mg/l | Manganeso mg/l | Sólidos suspendidos totales mg/l |
| Corriente superficial | Condiciones particulares de descarga típicas | | | |
| Fuente de abastecimiento de agua potable | 2 | 3 | 0.5 | 100 |
| Riego agrícola | 10 | 50 | 2 | 100 |
| Pretección de la vida acuática | 2 | 3 | 0.5 | 100 |
| Lodos | Concentraciones típicas de los lodos químicos | | | |
| Lodo de sulfato de aluminio | 645 a 808 | 222 a 2,567 | 46.5 a 73.9 | 1,000 a 40,000 |
| Agua de retrolavado de sulfato de aluminio | 30 a 80 | 10 a 25 | - | 100 a 500 |

Fuente: Comisión Nacional del Agua, 1996.

La norma NOM-CCA-031-ECOL/1993, aún cuando no se refiere a los residuos de las plantas potabilizadoras, sirve de indicador de la calidad de los residuos que se pueden descargar a un sistema de alcantarillado.

Los efectos de la descarga de residuos de plantas potabilizadoras en los procesos de las plantas de tratamiento de aguas residuales incluyen:

- toxicidad a los procesos biológicos
- remoción o incremento de los sólidos suspendidos
- remoción o incremento de la materia orgánica
- remoción de fósforo

La toxicidad se presenta principalmente por el contenido de metales pesados en los residuos de las plantas potabilizadoras. Por otro lado la adición de los sólidos tiene el efecto de disminuir la demanda bioquímica de oxígeno del efluente debido a la adsorción de materia orgánica en el flóculo de sulfato de aluminio.

Los sólidos de plantas de ablandamiento elevan la concentración de sólidos en el efluente, sin embargo no reducen el contenido de fósforo.

Se tiene efectos negativos por la adición de residuos de las plantas potabilizadoras en el caso de plantas de tratamiento biológico sin sedimentación primaria, ya que los sólidos impactan directamente sobre el tratamiento biológico.

El mayor efecto de la descarga de residuos en el drenaje lo resiente el sistema de manejo de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales por el incremento en la masa y volumen de lodos correspondiente a los lodos de la planta potabilizadora. Es decir, el problema del manejo se transfiere a la planta de tratamiento de aguas residuales.

Lagunas.

Este método se utiliza en el país. Este proceso se realiza en plantas donde se dispone de terreno y el volumen de residuos es grande. Actualmente no existe alguna norma que regule este tipo de descarga, pero son una fuente de contaminación, ya que el suelo de la laguna se condensa, además de que hay filtraciones a mantos acuíferos, creando un impacto al medio ambiente y por lo tanto a la salud humana.

En nuestro país muy poco se ha realizado para el adecuado tratamiento y disposición de los residuos. No existen datos oficiales al respecto, la información que manejan las autoridades correspondientes es muy escasa y a la vez muy difícil de obtener. Son pocas las plantas potabilizadoras que cuentan con unidades apropiadas (es decir, unidades que forman parte del proyecto original integral de potabilización) para el correcto manejo y disposición de sus lodos y agua de retrolavado en filtros. En la Tabla 3.7 se presentan algunas características de las principales plantas potabilizadoras en las zonas metropolitanas de México, D.F., Guadalajara, Jal., Monterrey, Nvo León., en dicha tabla se puede observar el destino actual de los residuos de la potabilización y el estado en que se encuentran las unidades que fueron diseñadas para este fin. En otros casos se tiene conocimiento que fueron construidas unidades para ese

propósito pero actualmente se encuentran abandonadas o bien operan inadecuadamente. Respecto al resto de las plantas potabilizadoras como se ha mencionado no existen datos oficiales pero se cree que el panorama es desalentador. La práctica común ha sido descargar esos subproductos a cuerpos superficiales de agua, sistemas de alcantarillado y su disposición final es en el suelo o en lagunas. Se sabe que en ninguna planta se lleva a cabo la recuperación de productos a partir de los lodos, ni se disponen en rellenos sanitarios.

Esta situación ha sido tolerada por la autoridades responsables de la política ambiental en México, pero a partir de la promulgación de la Ley General del Equilibrio Ecológico (1988) y más recientemente de la Ley de Aguas Nacionales (1992) se cree que se hará mayor presión sobre los organismos responsables de esos residuos. Basados en la legislación ambiental debe enfatizarse la importancia del tratamiento adecuado a los subproductos generados en la potabilización como medida de mitigación de efectos ambientales en un futuro. Se debe cuidar que no se forme un proceso acumulativo de contaminación que de como resultado la degradación de cuerpos de agua. No se debe ignorar que aunque los residuos contienen bajo porcentaje de contaminantes biológicos, el de agua de retrolavado en filtros esta constituida principalmente por virus y bacterias, que son una fuente de contaminación.

TABLA 3.7 PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE ALGUNAS PLANTAS POTABILIZADORAS.

| Nombre de la planta | Q (m3/s) | Fuente de abastecimiento | Proceso de tratamiento | Tipo de lodo | Tratamiento de lodo | Disposición final | Estado actual |
|--|-------------|---|---------------------------|-----------------|--|-------------------------|----------------------|
| 1. "Los Berros" (sistema Cutzamala, Edo. de México. | 12.5 | Presas: Valle de Bravo, Villa Victoria, Chilesdo. | C.C. | L.A. A.L.F. | Espesamiento sin dato | Lagunas Lagunas | No opera sin dato |
| 2. "Adolfo Guzman" (Guadalajara, Jal.) | 7 | Lago de Chapala. | C.C. | L.A. A.L.F. | Ninguno Tanque sedimentación | Alcantarillado Suelo | sin dato Si opera |
| 3. "Las Huertas" (Guadalajara, Jal.) | 1 | Lago de Chapala (Canal Atequiza). | C.C. | L.A. A.L.F. | Ninguno Ninguno | Drenaje Drenaje | sin dato sin dato |
| 4. "San Gaspar" (sistema La Zurda - Calderón, Guadalajara, Jal.) | 3 | Presa Calderón. | C.C. | L.A. A.L.F.* | Ninguno Tanque sedimentación | Drenaje Drenaje | sin dato Si opera |
| 5. "San Roque" (Monterrey, Nvo. León) | 5.4 | Presas: Cerro Prieto, La Boca y El Cuchillo. | F.D. | A.L.F. | Tanque floculación-se- dimentación. | sin dato | sin dato |

SIMBOLOGIA:

C.C. = Clarificación completa

F.D. = Filtración directa

L.A. = Lodos de aluminio

A.L.F. = Agua de lavado en filtros

* Agua de retrolavado en filtros es reutilizada después de sedimentación

Fuente: M.I. Baltazar Lucero, 1996.

CAPITULO IV

METODOLOGIAS PARA EL MANEJO, TRATAMIENTO Y DISPOSICION DE LODOS

En este capitulo se presentan las principales operaciones y procesos unitarios existentes en la literatura internacional para el manejo, tratamiento y disposición de los lodos que se producen en la potabilización del agua.

IV.1 TIPOS DE LODOS.

Durante la potabilización del agua se generan subproductos en los diversos procesos de este tratamiento, estos son:

Lodos de presedimentación.

Las fuentes de abastecimiento de rios con alta concentración de sólidos suspendidos son presedimentados, resultando en lodos conteniendo sales, arenas y precipitados inorgánicos.

Lodos de coagulación- sedimentación.

La coagulación química y la floculación son procesos de tratamiento de agua ampliamente utilizados para remover arcilla, sales, materia orgánica disuelta o coloidal, organismos microscopicos o hidroxidos metálicos coloidales. Después de la coagulación-floculación los lodos pasan a sedimentarse para ser removidos del agua. Estos lodos consisten principalmente de los oxidos hidratados del coagulante y los materiales removidos del agua cruda. La composición de los lodos es altamente variable y depende principalmente de las características mismas del agua a tratar, de la estación del año en que se realiza el tratamiento, del coagulante utilizado y de los procesos de depuración a los que se somete el agua cruda. Clasificaremos a estos residuos de acuerdo a su tren de tratamiento en lodos de clarificación completa y lodos de ablandamiento, ya que de cada uno, se obtiene un lodo con características propias.

Lodos de clarificación completa.

El Sulfato de Aluminio (alumbre) es el coagulante más ampliamente utilizado aunque las sales de hierro (cloruro ferrico, sulfato ferroso y sulfato ferrico) también son utilizados como agentes de coagulación.

Las características del lodo de aluminio varían de acuerdo a la calidad del agua a tratar. Las aguas con alta turbidez de rios y corrientes generalmente resultarán en lodos relativamente concentrados y fáciles de desaguar o deshidratar. Las aguas con baja turbidez de lagos y otros reservorios producirán menos sólidos pero generarán un lodo difícil de procesar. En general los lodos de

hierro tendrán mayor contenido de sólidos que los sólidos de aluminio. En México el agente coagulante más utilizado es el Sulfato de Aluminio (alumbre). La concentración de sólidos en los lodos de coagulación con alumbre varía de 0.5 a 2% (5,000 a 20,000 mg/l). (Kawamura, 1991).

Lodos de ablandamiento.

El proceso de ablandamiento remueve una porción de los compuestos de calcio y magnesio para reducir la dureza a un valor predeterminado. El uso de cal y/o soda ash (Na_2CO_3) en el proceso de ablandamiento resulta en lodos que contienen principalmente carbonato de calcio (80 a 95% en peso de sólidos). Otros componentes pueden ser hidróxido de magnesio, sales y en menor cantidad, cal sin reaccionar y materia orgánica. Los lodos de ablandamiento normalmente son fáciles de concentrar y deshidratar.

Aguas de retrolavado en filtros.

El proceso de filtración remueve materia en suspensión, como sales, óxidos hidratados, arcillas, coloides, algas, bacterias y virus al pasar el agua a través de un medio filtrante poroso. Los materiales obtenidos por la filtración son periódicamente removidos de los filtros mediante retrolavado. Las aguas de retrolavado en filtros son difíciles de manejar. La concentración de sólidos de este tipo de agua puede variar de 0.001 a 0.02% (10 a 200 mg/l), y puede ser necesario usar polielectrolitos para mejorar el espesamiento. El agua de retrolavado es importante desde el punto de vista de: 1) la disposición de los sólidos y 2) el valor del agua recuperada.

IV.2 CARACTERIZACION.

La caracterización es fundamental para determinar las propiedades del lodo así como para la elección del tratamiento a que puede ser sometido, además puede utilizarse para evaluar los resultados del tratamiento y de los equipos que se empleen.

Las principales características se clasifican en físicas, químicas y biológicas y son las siguientes:

FISICAS

Contenido de sólidos o materia seca:

Los lodos se presentan en la forma de un líquido que contiene partículas no homogéneas en suspensión.

En el laboratorio se trata de medir el peso del residuo seco después de su calentamiento a 105°C, hasta peso constante; se le expresa generalmente como porcentaje en peso.

Contenido de materia volátil:

Se mide este valor por la diferencia entre el peso del lodo seco (a 105°C) y el del mismo lodo después de incineración a 550°C.

Viscosidad:

La viscosidad puede considerarse como una medida de la intensidad de las fuerzas entre partículas. Permite igualmente, valorar el carácter tixotrópico de un lodo (aptitud de éste a solidificarse en ausencia de toda agitación, y a transformarse en un líquido cuando se agita ligeramente). Esta característica es muy útil para conocer las posibilidades de recolección, transporte y bombeo de un lodo.

Resistencia específica.

La resistencia específica del lodo se define como la resistencia que opone a la filtración una cantidad de lodo depositada en un metro cuadrado de superficie filtrante y que se obtenga un kilogramo de producto seco. Esta prueba se utiliza para optimizar la eficiencia de los procesos de deshidratación de los lodos.

QUIMICAS

pH:

El pH del agua es una forma de expresar la concentración del ión hidrógeno. El potencial hidrógeno o pH es un parámetro indicador de el grado de acidez o alcalinidad (el grado que se tenga que va de 0 a 14) de una solución. El método más común para determinar el pH es por medio del potenciómetro.

Alcalinidad total:

La alcalinidad total es la capacidad cuantitativa de un líquido para neutralizar un ácido, o la cantidad de ácido que se requiere por litro para disminuir el pH a un valor aproximado de 4.3 . La alcalinidad de un líquido se debe principalmente a la presencia de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, en ocasiones a boratos, fosfatos y silicatos que pueden estar disueltos en el líquido.

Acidez total:

La acidez total de un líquido se refiere a su capacidad cuantitativa para neutralizar una base, o la cantidad de base que se requiere por litro para aumentar el pH a un valor aproximado de 8.3 .

Otras características importantes son el contenido de metales (Aluminio, Hierro, Manganeso, Cianuro, Fenoles, etc.) y la cantidad de materia orgánica, que en este caso es casi nula.

BIOLOGICAS

Coliformes totales:

El grupo coliforme si bien no está constituido por organismos especialmente patógenos (excepto la E. Coli) pertenece a la misma familia de las enterobacterias, a la que pertenecen las Salmonellas (productores de tifoidea) y Shigellas (productoras de disentería bacilar). El grupo coliforme se define así: Es el formado por todas las bacterias aeróbicas y facultativos anaeróbicas, negativas y no formadoras de esporas, que fermentan la lactosa con producción de gas, dentro de 48 horas a 35°C. Estos organismos son característicos del intestino del hombre y todos los animales de sangre caliente. Diariamente el hombre escruta entre 150 y 400 mil millones de estos microorganismos. Su presencia confirmada indica por tanto que el agua o lodo ha sido contaminada con materias fecales. Los métodos que se utilizan para detectar el grupo coliformes son el filtro de membrana y el de tubos múltiples.

2. Virus y protozoarios.

Los virus son agentes patógenos extraordinariamente pequeños, visibles sólo con el microscopio electrónico y que únicamente pueden multiplicarse en el interior de una célula viva. Los virus son las causas principales de la poliomielitis y la hepatitis.

Los protozoarios son organismos microscópicos, unicelulares como por ejemplo las amebas. Las amebas pueden subsistir más de un mes en el agua, en forma de quistes. Son especialmente resistentes a la acción de los antisépticos. Algunas especies causan la disentería amebiana, pueden producir además abscesos hepáticos y hemorragias intestinales. Existen dos especies de

7

protozoarios que no son completamente removidos por los sistemas de filtración en las plantas potabilizadoras, la Giardia y el Cryptosporidium.

Las enfermedades causadas por virus y protozoarios son transmitidas por el agua, por eso es necesario realizar un análisis para determinar el contenido de estos. El análisis consiste en primer lugar en concentrar los virus y protozoarios. Los metodos que se utilizan en la actualidad son filtración a través de membranas o a través de cartuchos y percolación a través de micro-bolas de vidrio en columnas o en lechos fluidificados.

En la Tabla 4.1 se pueden observar algunas características de lodos de aluminio y agua de retrolavado en filtros.

TABLA 4.1 PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LODOS DE ALUMINIO Y AGUA DE LAVADO EN FILTROS.

| TIPO DE LODO | TURBIEDAD UNT | DBO mg/l | DQO mg/l | pH | S.T. (%) | S.D.T. (%) | AL ₂ O ₃ (%) | SiO ₂ Y MATERIAL INERTE (%) | COMPUESTOS ORGANICOS (%) |
|------------------------|------------------|-------------|-------------|---------|-------------|---------------|---------------------------------------|---|-----------------------------|
| Lodos de aluminio | - | 30-300 | 30-5,000 | 6-8 | 0.1-4 | - | 15-40 | 35-70 | 15-25 |
| Agua lavado en filtros | 150-250 | 2-10 | 30-150 | 6.7-7.5 | - | 0.01-0.05 | - | - | - |

IV.3 METODOLOGIAS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICION DE LODOS.

Según la disponibilidad del terreno, la naturaleza del lodo y su facilidad para la deshidratación así como los factores económicos (precio del terreno, mano de obra, energía, reactivos, amortización de las inversiones, exigencias sanitarias, etc.), podrán variar las soluciones de tratamiento más adecuadas, pero sus objetivos finales serán siempre los mismos. El objetivo principal es la reducción del volumen de dichos lodos y la obtención de las mejores características para disponerlos de forma que no afecten al medio ambiente y la salud pública.

En la Figura 4.2. se presentan las principales operaciones y procesos unitarios existentes en la literatura internacional para el manejo y disposición de lodos que se producen en la potabilización del agua.

Cabe señalar que en el diseño de un tren de tratamiento de lodos debemos considerar el tipo de subproducto a tratar (ya sea lodos químicos o agua de retrolavado).

Se considera como manejo de lodos, al bombeo o transportación de los lodos dentro de los procesos de tratamiento, así como su transporte a su lugar de disposición final. Proceso es propiamente el mecanismo de tratamiento a que es sometido el lodo para su disposición.

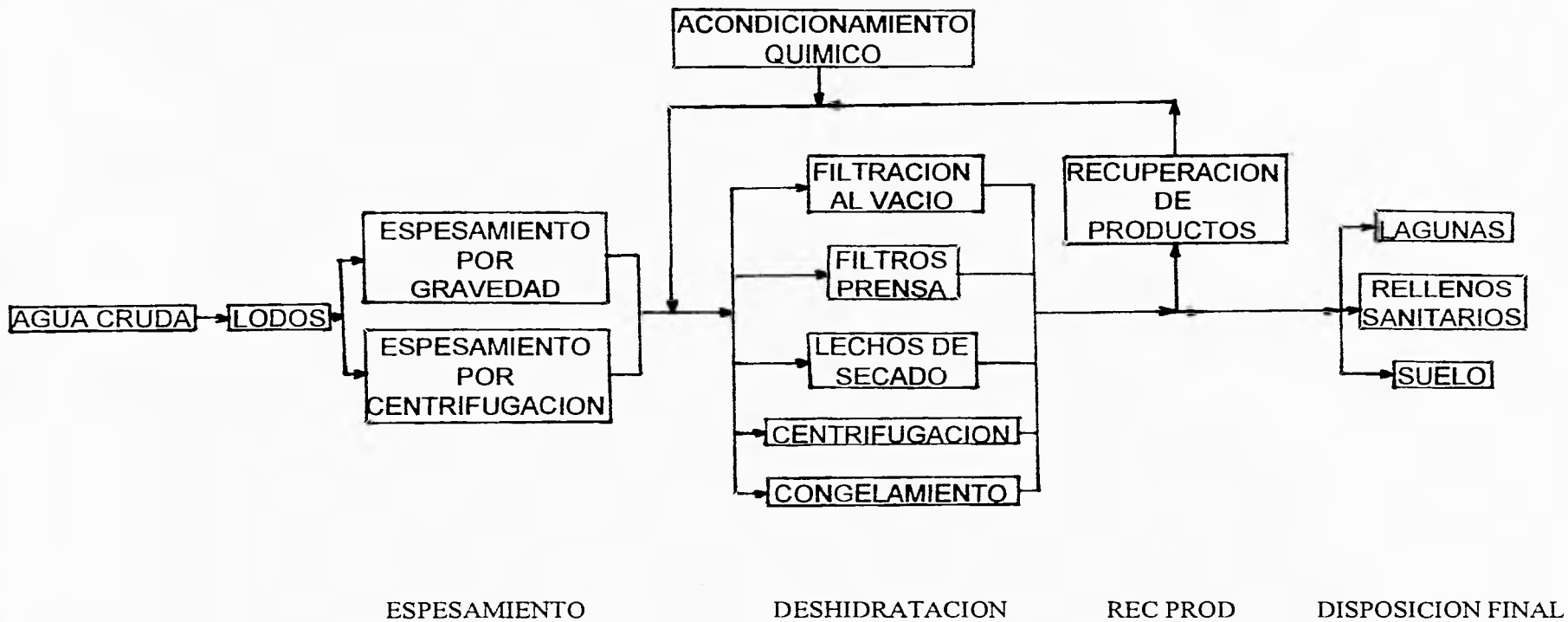
Disposición final es el lugar a donde se van a descargar los lodos, previamente tratados.

ESPESAMIENTO.

El espesamiento es el proceso que se emplea para incrementar el contenido de sólidos de los lodos eliminando una parte de su fracción líquida (agua). El espesamiento es atractivamente económico porque tiene como resultado la reducción del volumen de lodos, disminuyendo los procesos subsecuentes a los que se va a someter este. También se utiliza para dar mayor consistencia al lodo. Debido a que algunos sistemas de deshidratación proporcionan mayor eficiencia a mayor concentración de sólidos, es necesario espesar los lodos por este medio. Los tanques espesadores también sirven para regularizar los lodos provenientes de diversos tanques y procesos generadores de lodos. En ocasiones se utiliza la agregación de coagulantes o polímeros para incrementar el tamaño de las partículas, aumentando la velocidad de sedimentación, y por lo tanto mejorar la captura y reducción del tiempo de retención requerido para cierto grado de espesamiento.

Los principales tipos de espesamiento se llevan a cabo generalmente por medios físicos y son: a) espesamiento por gravedad y b) espesamiento por centrifugación.

ESQUEMA 4.2. OPERACIONES Y PROCESOS PARA EL MANEJO, TRATAMIENTO Y DISPOSICION FINAL DE LOS LODOS



a) Espesamiento por gravedad.

El espesamiento por gravedad se realiza en un tanque cuyo diseño es similar a los tanques convencionales de sedimentación con la diferencia de que los espesadores tienen pendientes mayores en el fondo. Un espesador convencional por gravedad se muestra en la Figura 4.3. El espesador normalmente consiste de dos rastras montadas sobre un tubo que es mecanizado a través de un motor, el cual se encuentra en la parte superior. Un puente generalmente metálico y muy ligero es sujetado a las paredes del tanque, o en algunos casos a las columnas de acero o concreto, con el fin de soportar el mecanismo y permitir el acceso del personal encargado de la operación y mantenimiento del sistema. El lodo entra por una tubería a la mitad del tanque para permitir que la fracción sólida se asiente en la zona de manto de lodos. La fracción líquida es desalojada mediante vertedores colocados en la circunferencia del tanque (canal del efluente), con el objetivo de no generar turbulencia y evitando que se pudiera mezclar algún sólido. Con el fin de evitar que los lodos que se van sedimentando se atasquen a lo largo de la circunferencia del tanque, en los extremos de los soportes existen limpiadores (dientes) para desalojar a estos.

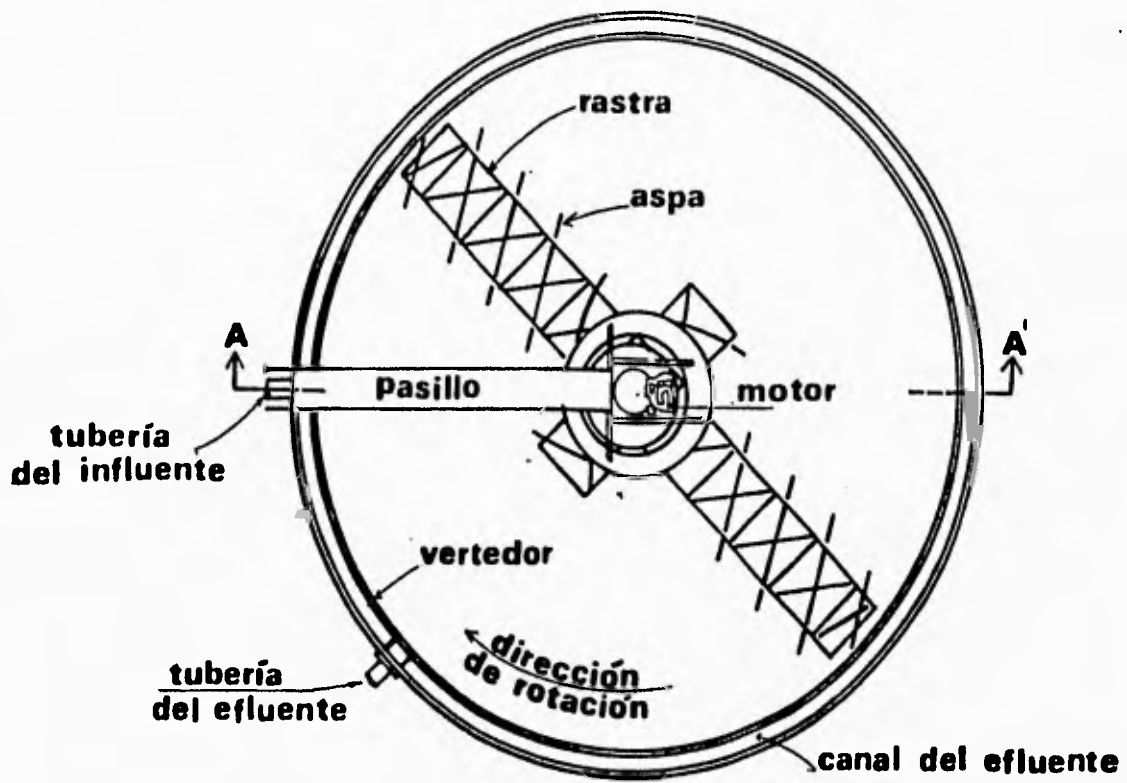
Los lodos de aluminio que se han sometido a espesamiento por gravedad tienen una concentración de sólidos de 8 a 10 por ciento. La fracción líquida finalmente puede disponerse a donde mejor convenga, ya que el contenido de sólidos es muy pequeño.

Las aguas de retrolavado que se someten a espesamiento dan un líquido con concentración muy baja de sólidos, el cual se puede recircular al inicio del tratamiento del agua (considerando las características de este), ya que como se ha visto antes, es un volumen importante que debe aprovecharse. La fracción sólida puede ir a la siguiente etapa de tratamiento o disposición.

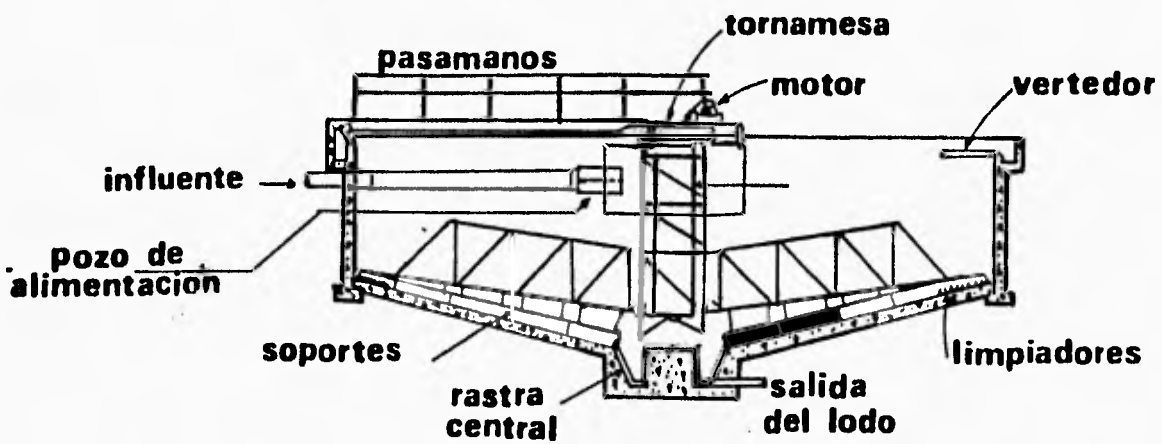
b) Espesamiento por centrifugación.

El espesamiento por centrifugación consiste en la sedimentación de las partículas contenidas en un lodo bajo la influencia de fuerzas centrífugas. El uso de la centrifugación para espesamiento en nuestro medio ha sido limitado o nulo debido a que necesita de mantenimiento constante, además el costo es significativo y los requerimientos de energía son muy altos. La centrifugación para espesamiento se utiliza cuando el espacio es limitado ó las mismas características del lodo hacen que otro método sea inconveniente. La centrifugación se aplica propiamente en la deshidratación de los lodos.

El proceso de centrifugación se explicará posteriormente, como un proceso de deshidratación.



PLANTA



CORTE A-A'

FIGURA 4.3 PLANTA Y CORTE DE UN ESPESADOR CONVENCIONAL.

ACONDICIONAMIENTO QUIMICO.

Es el proceso por medio del cual se agregan productos químicos (ayudantes de coagulación o polímeros) al lodo para acelerar y mejorar la operación de los procesos subsecuentes como la deshidratación.

DESHIDRATACION.

La deshidratación es la operación unitaria que se usa para eliminar el contenido de la humedad del lodo y reducir su volumen a un grado en que los costos de capital y operación de los procesos subsecuentes disminuyan, tal es el caso de los costos de transporte y acarreo a los sitios de disposición final.

La deshidratación se logra mediante la filtración de los lodos. Esta filtración puede consistir en un simple drenaje sobre lechos de arena, o en una filtración mecánica al vacío o a presión.

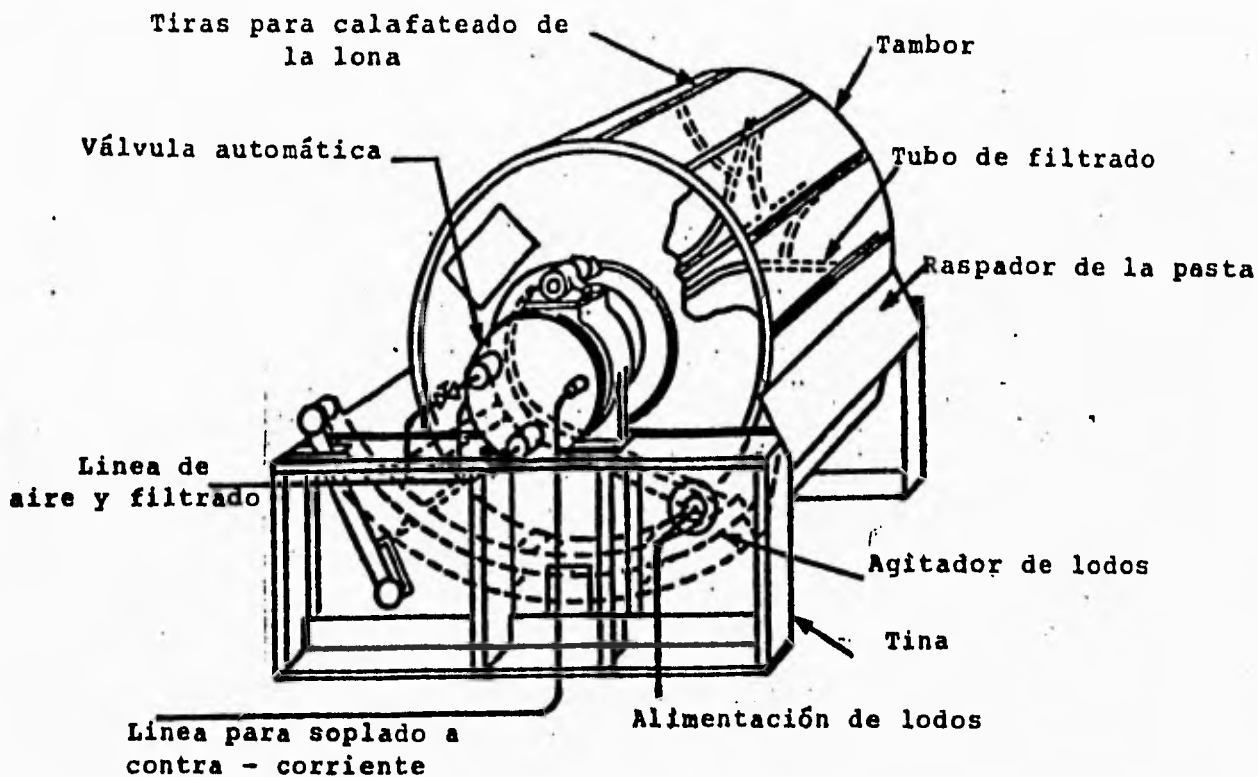
Los procesos utilizados en la deshidratación de los lodos generados al tratar el agua potable son: a) filtración al vacío, b) filtros prensa, c) filtración por bandas o cinturones, d) lechos de secado y e) centrifugación.

a) Filtración al vacío.

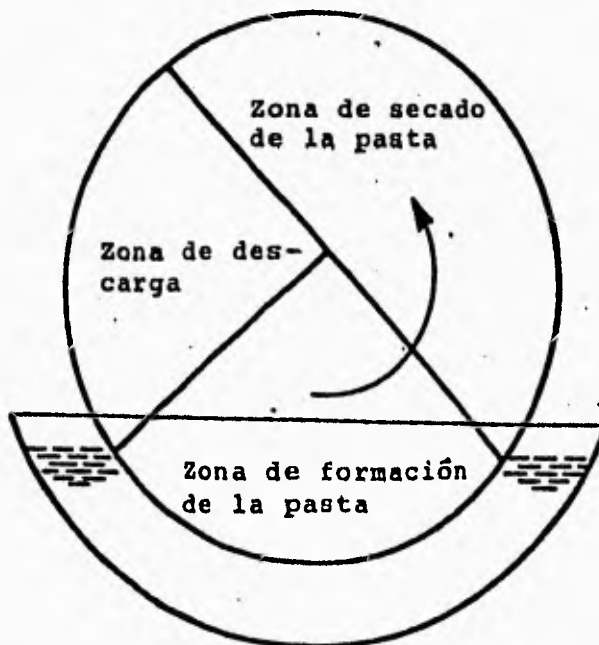
Es el procedimiento más antiguo de deshidratación mecánica. En la Figura 4.4 se presenta en corte un mecanismo de filtración al vacío.

Los filtros de vacío son dispositivos que tienen la forma de un tambor cilíndrico rotatorio el cual está suspendido en un recipiente que contiene a los lodos. A medida que el tambor gira lentamente dentro de ese recipiente, parte de su circunferencia se somete a un vacío interno que extrae el lodo hacia el medio filtrante donde se forma una pasta. El medio poroso o filtrante que cubre al tambor puede ser de algodón, lana, nylon u otros materiales sintéticos que se encuentran disponibles en una variedad de tejidos con diferentes porosidades.

El tambor está dividido radialmente en tres diferentes secciones, cada sección está unida a su mecanismo por medio de un sistema de tuberías. En la Figura 4.4. se representan las diferentes zonas. En la zona "A" (en orden del desarrollo del mecanismo empleado para la deshidratación), el vacío es aplicado al líquido contenido en esta zona a través del medio filtrante, teniendo como resultado un lodo parcialmente deshidratado. Mientras el tambor gira, la pasta emerge del recipiente que contiene a los lodos. El líquido aspirado es evacuado del mecanismo. El efecto de succión aplicado en esta zona permite que la pasta permanezca adherida al tambor y pase a la siguiente zona. La zona "B" es la zona de secado, es decir, continúa el drenaje del lodo sin aportar más materia y se incrementa la presión del vacío, para formar una pasta más espesa. La zona "C", es la zona de descarga. La descarga puede realizarse por inyección de aire comprimido, por un sistema de hilos o cadenas, por medio de un rodillo o bien por un sistema de remoción del material filtrante.



FILTRO ROTATORIO AL VACIO.



ZONAS DE OPERACION.

FIGURA 4.4 CORTE Y ZONAS DE OPERACION DE UN FILTRO ROTATORIO AL VACIO

La ventaja de la filtración al vacío es que produce un líquido con baja concentración de sólidos y además no requiere de personal especializado para su operación. Algunas de sus desventajas son: los altos consumos de energía y el hecho de requerir atención continua por parte de los operadores.

Los filtradores al vacío no son efectivos en lodos de Aluminio, aun agregando coagulantes o polimeros, la pasta resultante no excede de 10 a 12% de contenido de sólidos. La filtración al vacío se recomienda para los lodos generados por ablandamiento con cal, algunas aplicaciones han reportado una pasta con un contenido de sólidos del 40 al 50%.

b) Filtros prensa.

Este como su nombre lo indica, es el proceso de deshidratación mediante el cual el lodo es forzado a presión para eliminar gran parte de su contenido de agua.

En la Figura 4.5. se muestra la vista lateral de este tipo de filtros y su funcionamiento está basado en el bombeo del lodo a través de las placas, las cuales están suspendidas de un eje metálico horizontal y cubiertas en ambos lados por una tela filtrante. El lodo se alimenta al filtro prensa por un extremo fijo y pasa a lo largo del filtro prensa. A medida que las placas se van cerrando y la pasta del lodo se va formando entre las cámaras, se va disminuyendo gradualmente la presión. El agua pasa a través de la tela filtrante, mientras que los sólidos son retenidos, formando una pasta en la superficie de ésta. La pasta pasa al extremo móvil, el cual colecta la pasta de las diversas placas para almacenarlas generalmente en un tanque. Generalmente el lodo a filtrar es acondicionado químicamente, bombeado a los espacios entre las placas. El lodo es sometido a presiones de 40 a 150 N/cm² en tiempos de 1 a 3 horas, con esto se obtiene una pasta con contenido de humedad de 55 a 70%. La principal ventaja de este proceso es la alta concentración de sólidos de la pasta. Entre sus desventajas se pueden mencionar: los altos costos de inversión, mano de obra y el tipo de operación batch o intermitente.

Los filtros prensa se utilizan cada vez con mayor frecuencia, a pesar del carácter discontinuo de su funcionamiento y su elevado costo de inversión. Su desarrollo se explica por las razones siguientes:

- * Mecanización cada vez mayor de los aparatos, hasta el punto que se necesita un mínimo de mano de obra o de vigilancia para las operaciones de descarga de la pasta o del lavado de las telas (lavado automático).

- * Necesidad de obtener pasta de gran sequedad, para permitir:

- una descarga más cómoda;
- una limitación de los gastos de transporte de los lodos deshidratados.

Los filtros prensa son utilizados para deshidratar lodos generados en el acondicionamiento del agua con coagulantes químicos y lodos generados en el ablandamiento con cal; aunque es más usada en los primeros.

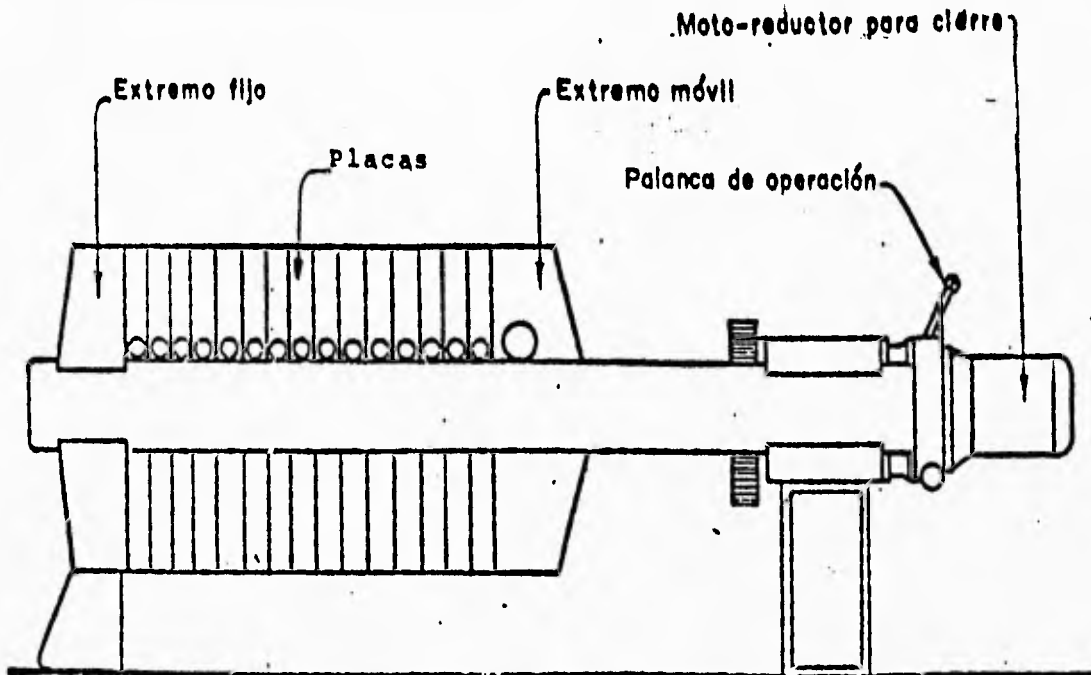


FIGURA 4.5. VISTA LATERAL DE UN FILTRO PRENSA.

c) Filtración por bandas o cinturones.

Esta tecnología es relativamente nueva para el tratamiento de lodos, es una modalidad de la filtración al vacío. Consiste en bandas permeables continuas que comprimen y rasgan el lodo para remover el agua. Las bandas filtradoras están diseñadas de manera que el lodo sea lo suficientemente deshidratado para dejar una pasta en la banda en el primer paso.

En la Figura 4.6. se presenta un esquema de este tipo de filtro que consiste de dos bandas continuas colocadas una sobre otra. El lodo preferentemente acondicionado, es alimentado por el medio de las bandas. El lodo debe ser acondicionado de manera que sea eficiente para lograr que el lodo sea retenido en la superficie de la banda, esto se logra con la adición de polímeros. El proceso incluye tres etapas básicas de operación: en la primera se hace pasar el lodo a través de la zona llamada de drenaje donde se efectúa la deshidratación por gravedad, después el lodo pasa a la zona de presión, que es aplicada al lodo mediante rodillos en contacto con la banda superior, a través que el lodo pasa por esta zona la presión se va aumentando con el fin de remover eficientemente el agua contenida. Por último, el lodo pasa a la zona de cortante donde se lleva a

cabo la deshidratación final, el lodo se rasga a través del movimiento de las bandas en trayectoria serpentina alrededor de los rodillos. La diferencia de velocidad entre las dos bandas abre la pasta y permite que el agua sea retirada a través de canales a la salida donde unas cuchillas retiran la pasta de la banda y la depositan en tolvas o en correas de transportación.

Es difícil generalizar acerca del funcionamiento operativo de este tipo de filtros ya que los resultados dependen de muchos factores como: método de acondicionamiento, máxima presión, número de rodillos, etc.

Este sistema de filtración se adapta especialmente a instalaciones de pequeña o mediana importancia por varias razones:

- continuidad del proceso y permanencia del lavado del medio filtrante;
- gran facilidad de explotación y solidez (pequeña velocidad);
- costos relativamente menores de inversión, mano de obra, de consumo de energía y de mantenimiento;
- posibilidad de manejar con pala la pasta obtenida.

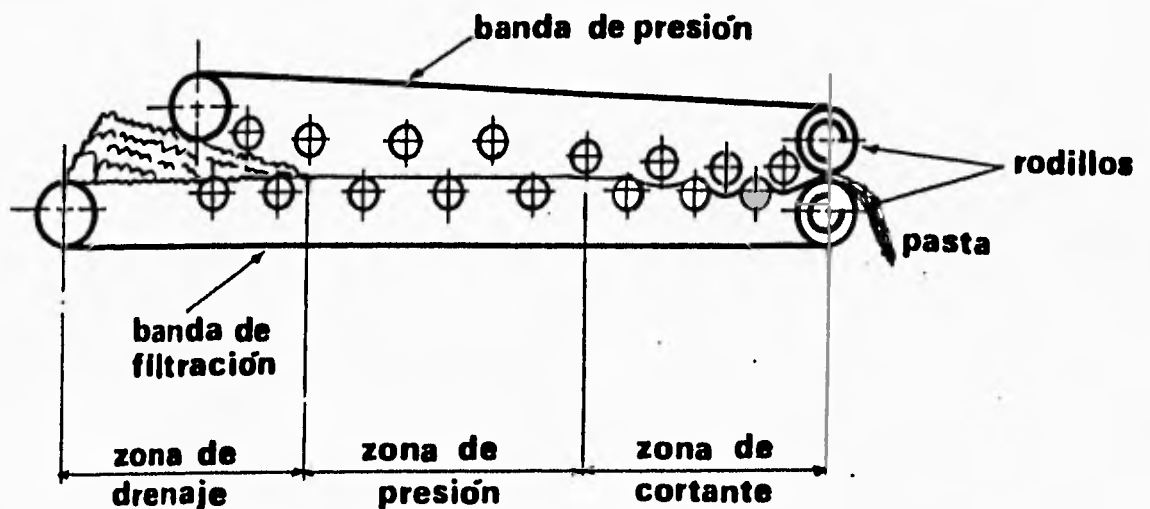


FIGURA 4.6. FILTRO PRENSA HORIZONTAL DE BANDAS.

d) Lechos de secado.

El secado de lodos sobre lechos de arena drenados es la técnica más antigua para la deshidratación natural de lodos. Los lechos de secado son principalmente contruidos donde las condiciones climatológicas son muy favorables (clima extremo) y se dispone de terreno suficiente.

El principio de funcionamiento de un lecho de secado consiste en una primera fase: en una deshidratación por drenaje o filtración a presión muy baja y en una segunda fase: en la evaporación de una parte del agua ligada.

En la Figura 4.7 se muestra un lecho de secado. Los lechos de secado son estanques de poca profundidad cuyo fondo está compuesto a base de capas de material poroso (grava y arena) y tubos dren en la parte inferior para eliminar el agua extraída.

Los lodos que van a ser deshidratados se colocan en capas que van de 200 a 300 mm. de espesor y se les deja un tiempo para que deshidraten, este puede ser desde unos días hasta varias semanas lo cual está en función principalmente del clima y tipo de lecho que puede ser con cubierta o a cielo abierto, etc.

Los lechos de secado están contruidos generalmente, por una capa de 10 cm de arena de 0.5 a 1.5 mm de diámetro, dispuesta sobre una capa soporte de 20 cm de grava de 15 a 25 mm. El sistema de drenaje bajo la capa soporte está formado, normalmente, por tuberías de cemento, o de materiales no corrosivos como el plástico o la fibra de vidrio. El número y la pendiente de los desagües deben ser suficientes para asegurar un drenaje homogéneo de toda la masa de lodos. La capa de lodo que se esparce es del orden de 30 cm. Un espesor demasiado grande puede producir un atascamiento rápido de la capa superior de arena.

Con lechos que se alimentan por un solo punto, no puede sobrepasarse una anchura de 8 m ni una longitud de 20 m.

La recolección de los lodos secos se realiza, generalmente, de forma manual. Puede evitarse esto mecanizando los lechos por medio de puentes motorizados, equipados con un mecanismo de rascado y de transporte hacia el exterior. Con esta mecanización pueden afectarse las superficies unitarias de los lechos de secado. Los puentes motorizados aseguran igualmente la distribución del lodo líquido por toda la era de secado. Sin embargo, por el refuerzo de los muros-soportes que necesita, y los equipos suplementarios, bastante pesados, ocasiona un aumento considerable de los gastos de inversión.

Las condiciones climatológicas influyen mucho en la producción. La frecuencia de llenado puede descender a tres o cuatro veces por año en algunas zonas templadas de clima marítimo, deteniéndose a veces durante toda la estación invernal. Puede obtenerse una mejora del rendimiento de los lechos mediante un acondicionamiento químico (por medio de polielectrolitos, principalmente). Con esta floculación por polímeros de fácil aplicación se aumenta considerablemente la velocidad de drenaje.

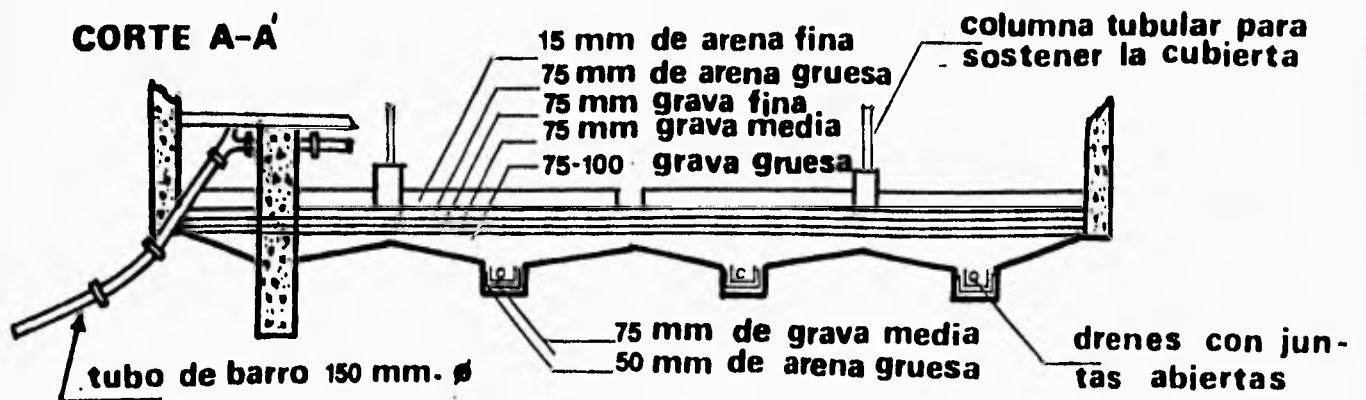
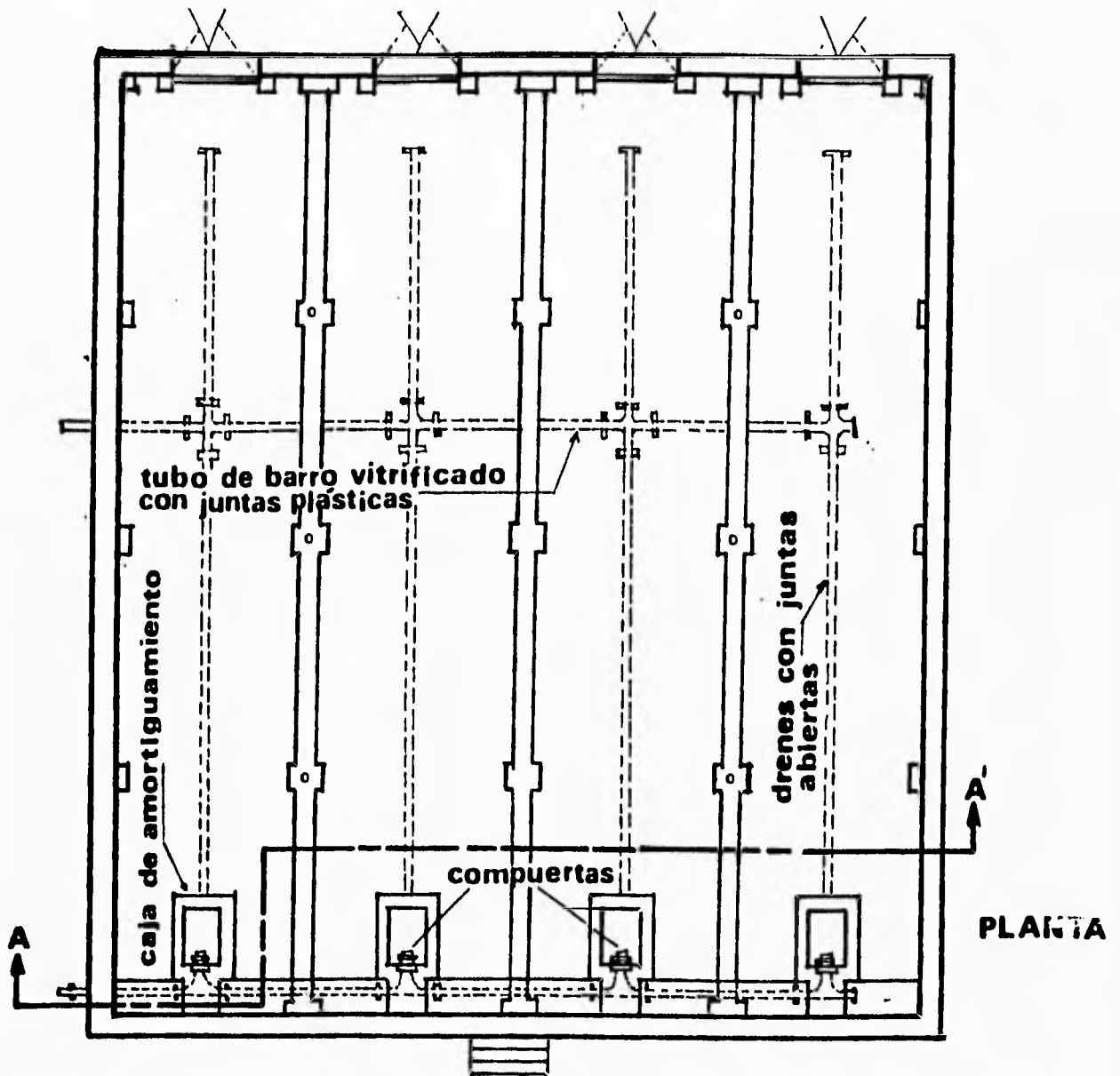


FIGURA 4.7 PLANTA Y CORTE DE UN LECHO DE SECADO.

Un frío intenso puede ser beneficioso para la explotación de los lechos de secado, debido a un acondicionamiento por congelación, pero la solidificación del lodo debe ser total, esta deshidratación natural se prevé para el tipo de lodos químicos, ya que son lodos bien estabilizados y no putrescibles.

e) Centrifugación.

Como ya se mencionó en el proceso de espesamiento, la centrifugación es el proceso donde se utiliza la fuerza centrífuga para acelerar la sedimentación de las partículas sólidas de un lodo. En la Figura 4.8 se muestra una centrifugadora convencional, ya que en el mercado existen varios tipos de centrifugadoras. Los dos principales elementos de la centrifugadora son el tanque rotatorio el cual es el vaso de sedimentación y el transportador rotatorio donde se realiza la descarga de los lodos. La operación consiste en alimentar el lodo a flujo constante hacia la parte media del cilindro o centrífuga donde es sometido a la acción de fuerzas centrífugas que forman una pasta densa de sólidos los cuales se adhieren a las paredes internas de la centrífuga, estos sólidos se eliminan por uno de los extremos a través del transportador rotatorio. La fracción líquida resultante llamada centrado, se elimina por el otro extremo de la centrífuga. Entre sus ventajas se destacan: la alta concentración de sólidos obtenida en la pasta, poca generación de olores desagradables, no obstante también presentan algunas desventajas como el constante mantenimiento requerido por el transportador rotatorio y los daños causados por el material que no se elimina en el tratamiento preliminar de las aguas, además que para lodos químicos los costos son altos.

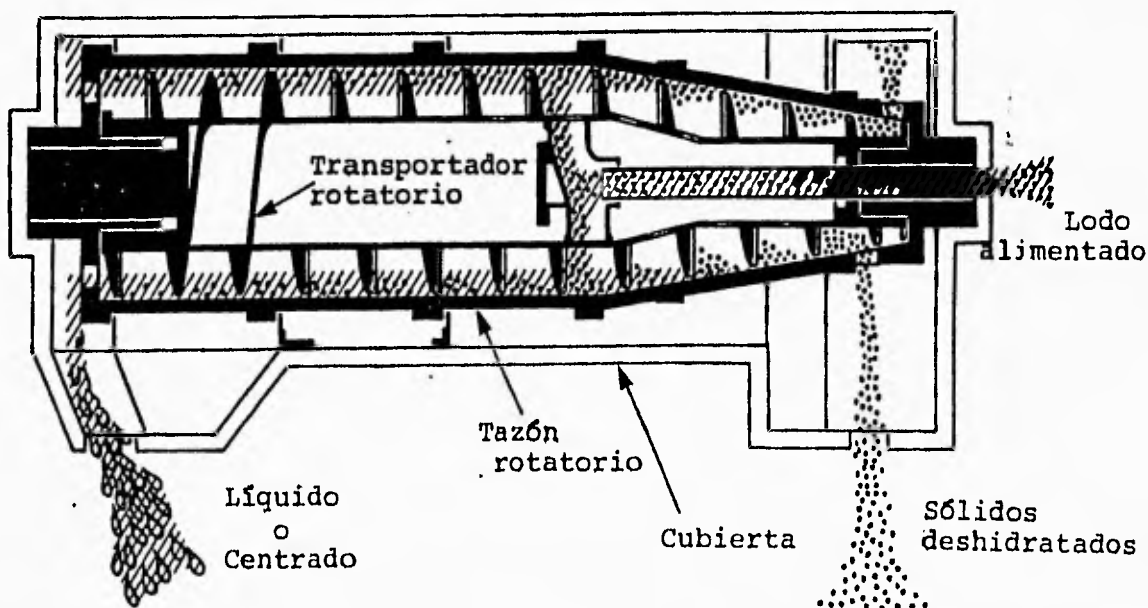


FIGURA 4.8. ESQUEMA DE UNA CENTRIFUGA CONVENCIONAL.

f) Congelamiento.

Una forma de deshidratación innovadora y que ha tenido mejores resultados que los procesos anteriores de deshidratación es el proceso de congelamiento-deshielo. El lodo se transforma de una suspensión de partículas finas a una mezcla de agua clara y partículas granulares. Estas partículas tienen la apariencia de granos de café en tamaño y forma, y no se separan si no sufren una fuerte agitación. La efectividad de este proceso puede observarse simplemente congelando y deshielando una muestra de lodo.

Las investigaciones han demostrado que la separación de sólidos durante el congelamiento se debe a la formación de cristales de hielo que crece por la adición de moléculas de agua a su estructura. Cada cristal de hielo continúa creciendo según exista disponibilidad de moléculas de agua. Como resultado, de esta aglutinación cualquier impureza como las partículas de lodo son forzadas hacia las capas de cristal. Cuando las partículas llegan a ser un número suficiente para restringir el fluido, las moléculas de agua se cortan y el cristal deja de crecer. Esto deja una masa concentrada de partículas sólidas en la capa del cristal, cuando esto sucede a través del lodo, éste se transforma de una suspensión de partículas a una masa de cristales de hielo y sólidos concentrados. Si la fracción de sólidos concentrados se coloca sobre un medio poroso el agua puede drenarse fácilmente, dejando las partículas granulares.

Una nueva unidad de operación ha sido específicamente diseñada para usar el congelamiento para deshidratación de hielo. Esta unidad de operación ha sido llamada cama de congelamiento de lodos y se muestra en la Figura 4.9.

La cama de congelamiento es similar a los lechos de secado, excepto que la de congelamiento es considerablemente profunda. Es necesario esta profundidad para congelar demasiadas capas de lodo durante el invierno. El lodo se congela en capas porque este procedimiento maximiza la cantidad de lodo que puede ser congelada, y reduce la fricción interna dentro del bloque, causada por la expansión del agua durante el congelamiento. En primavera y verano los bloques de lodo congelado se derriten y por lo tanto se drenan. Esto puede tomar de semanas a meses dependiendo de la profundidad y del clima. Una vez que el deshielo se termina, la fracción sólida se remueve con un equipo o por medio de tuberías. La cama de congelamiento debe ser cubierta para impedir que se contamine o que se revuelva con nieve o con lluvia.

La capacidad o dimensiones de la cama dependerán de la cantidad de lodo que debe ser deshidratada anualmente o por ciclos preestablecidos.

Esta técnica ha sido aplicada en países desarrollados con climas extremos debido a que su construcción, operación y mantenimiento son muy costosos.

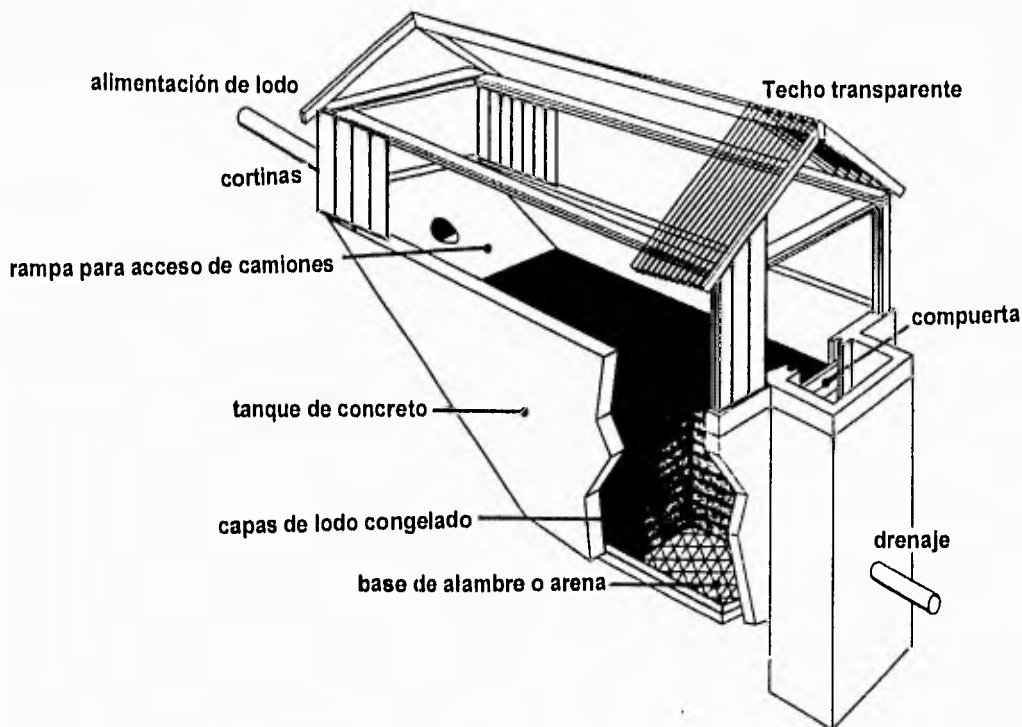


FIGURA 4.9 CAMA DE CONGELAMIENTO.

RECUPERACION DE PRODUCTOS QUIMICOS.

En los lodos generados en la potabilización del agua solamente se puede hablar de la recuperación de los siguientes productos:

- de sulfato de aluminio o cloruro férrico (los polímeros no se consideran ya que no es muy factible su recuperación.
- de cal o carbonato de calcio.

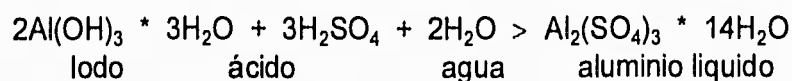
La recuperación se logra con el cumplimiento de reacciones químicas en el lodo por medio de la alteración de sus características.

El costo de la recuperación de productos debe ser una consideración importante, pues cada subproducto cuenta con una rentabilidad y con características propias, aunque el objetivo principal de esta recuperación es la de reutilizar los subproductos generados y disminuir así la generación de los mismos.

a) Recuperación de aluminio.

El esquema tradicional de recuperación de aluminio consiste en espesar el lodo, reducir el pH, y separar por decantación los precipitados producidos por la disolución del aluminio. A este proceso se le denomina como digestión ácida.

La estequiometría de esta reacción se expresa:



Para formar 1.9 lb de aluminio, 1.9 lb de ácido sulfurico es requerido para hacer reaccionar 1 lb de hidroxido de aluminio. El lodo resultante es de menor volumen y mayor concentración, por tanto más fácil de deshidratar.

Este proceso tiene las siguientes limitantes: con el aluminio se concentran otras sustancias o partículas contenidas en el lodo que se solubilizan con la acidificación, además de la materia organica y la concentración de metales pesados (cadmio, cobre, hierro, plomo, etc.,) es pequeña en los lodos, pero de gran importancia si se reutiliza este lodo. Por ejemplo, la concentración de manganeso es normalmente significativa en el agua cruda, y por tanto después de la acidificación.

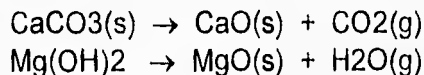
Debido a esto, el lodo no podría reutilizarse para la potabilización, ya que se estaría agregando o añadiendo al agua lo que se desea remover.

Con esta acidificación el lodo líquido puede ser reutilizado para remoción de fosforo, para la fabricación de tabiques (tecnología empleada en el Brasil) o como agregado para construcción de calles.

Existe otro proceso para la recuperación del aluminio que es por medio de intercambio ionico, pero es un proceso complicado y no rentable para la recuperación de este producto.

b) Recuperación de cal o carbonato de calcio.

La cal viva (CaO) se puede obtener a partir del lodo generado por el ablandamiento del agua con cal. Esto se logra mediante la recalcinación del lodo, cumpliendose la siguiente reacción:



El carbonato de calcio recuperado se puede utilizar para neutralizar suelos ácidos, como aditivo en la construcción de techumbres, plasticos, goma, pinturas y cartón.

Esta técnica es beneficiosa cuando se trata de plantas grandes o de volumen de lodos considerable, ya que si la cantidad es pequeña la recuperación de la cal no sería rentable ni afectaría en cuanto a disposición de residuos.

En el país se cuenta con pocas plantas de ablandamiento las cuales se encuentran distribuidas en la Península de Yucatán.

IV.4 DISPOSICION FINAL DE LOS LODOS.

La rentabilización de los lodos es generalmente problemática, y su evacuación constituye casi siempre una carga de explotación considerable. En el aspecto económico, el único fin que interesa es, en realidad, limitar los gastos inherentes a su disposición. Los principales métodos de disposición son los siguientes:

a) Rellenos sanitarios.

Este método es el más recomendable para la disposición de residuos, tanto por su mismo diseño como por su funcionamiento. El término relleno se refiere a un área en la cual se depositan desechos sólidos municipales donde se compactan y cubren con una capa de tierra diariamente o en periodos establecidos.

Su función principal es la de prevenir la circulación de lixiviados hacia el subsuelo y por lo tanto hacia acuíferos, además de absorber o atenuar el movimiento de los contaminantes suspendidos o disueltos.

Un relleno sanitario consta de diferentes capas que construyen un confinamiento impermeable. Entre los materiales de impermeabilización se pueden mencionar las arcillas (bentonita) y las membranas sintéticas.

Los rellenos sanitarios con operación y mantenimiento adecuados aseguran el control de los problemas de salud pública, contaminación del agua y aire.

Para la descarga de lodos se requiere que estos tengan por lo menos el 15% de contenido de sólidos, aunque algunas veces varía de acuerdo a la operación del relleno sanitario. Aunque no es usual esta forma de disposición ya que se le da prioridad a la descarga de basura y residuos altamente peligrosos, debe considerarse como una alternativa viable.

b) Lagunas.

La disposición de los lodos a lagunas es otra forma muy común debido a su simplicidad y factibilidad económica sobre todo si la planta está en un lugar apartado de alguna comunidad y además cuenta con suficiente terreno. Una laguna tiene la función de un tanque de almacenamiento en la tierra, donde se depositan los lodos con el fin de que el líquido del lodo se filtre a través del suelo y la materia sólida se deposite en el fondo de esta.

Cuando la laguna se encuentra saturada se puede desazolvar por medio de equipos o manualmente, o bien cambiar de sitio para una laguna nueva.

El inconveniente de este método es que el terreno de la laguna no puede utilizarse posteriormente para cultivo.

c) Suelo.

Para la disposición en el suelo podemos hablar de inyección o vertido directo. La inyección en el subsuelo consiste en aplicar el lodo en estado líquido, en bolsas porosas del subsuelo, aisladas entre dos capas continuas de arcilla. Es indispensable un estudio minucioso de las condiciones geológicas. El confinamiento tiene que ser perfecto, con el fin de impedir toda contaminación de las capas acuíferas que se atraviesan. Las profundidades de inyección varían entre 100 y 4,000 m y la presión de impulsión puede alcanzar 70 bares. Su empleo no parece contar con las garantías necesarias, y solo se utiliza en lodos difícilmente tratables.

El lodo de cal es muy utilizado como mejorador de cierto tipo de suelos como la arcilla. También se ha observado que la estabiliza (desde encogerlas hasta engrosarlas) e incrementa el pH de los suelos ácidos.

CAPITULO V

ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO, TRATAMIENTO Y DISPOSICION DE LODOS EN MEXICO.

V.1. CUANTIFICACION DE LODOS.

Se cree que el volumen de los subproductos de la potabilización es poco relevante, y se considera en las plantas más grandes del país, pero aunque existen plantas con poco caudal de operación, en conjunto representan un volumen de producción de lodos significativo que hay que tomar en cuenta para tomar medidas de solución en el país. A continuación en la tabla 5.1 se presenta la cuantificación de lodos y agua de lavado en filtros, en las plantas potabilizadoras del país. Los cálculos de los datos obtenidos se presentan en el Anexo.

**TABLA 5.1 CUANTIFICACION DE LODOS EN LAS PLANTAS
POTABILIZADORAS DE MEXICO.**

| SUBPRODUCTO | CONTENIDO DE SOLIDOS (Ton/d) | CAUDAL DE LODOS HUMEDOS m³/d |
|---------------------|---|--|
| Lodos | 605.56 | 30,278 |
| Agua de retrolavado | 27.70 | 138,360 |
| Total | 633.26 Ton/d | 168,637 m³/d |

Se puede concluir que este volumen de subproductos realmente es significativo y no se puede ignorar el impacto ambiental por el inadecuado tratamiento de los subproductos de la potabilización.

En el caso de el agua de retrolavados en filtros, este representa el 28 % de la producción total diaria del país de agua potabilizada; se está derrochando un gran caudal, además costos de producción de agua potable, ya que como hemos visto, se puede aprovechar esta agua, sino como una salvaguarda de la ecología, como una medida de economía.

Los lodos que se producen diariamente deben tratarse para prevenir más daños al medio ambiente, ya que es significativa la cantidad de sólidos que estos contienen además de ser contaminantes.

V.2. ALTERNATIVAS DE SOLUCION.

Con el fin de evitar daños a la ecología y prevenir el derroche de recurso naturales, económicos y humanos se proponen las siguientes alternativas de solución de acuerdo a los siguiente lineamientos:

- Elegir procesos en función de los parámetros que intervienen en la potabilización del agua.
- Evitar el uso de equipos electromecánicos o sofisticados que desfavorezcan la operación de las plantas.
- Reducir costos de inversión, operación y mantenimiento en estos procesos.
- Tomar experiencias de metodología empleada en el tratamiento de estos subproductos.

Cabe señalar que en el manejo, tratamiento y disposición de los subproductos no existe solución única ya que según las características del agua a tratar y de los procesos que intervengan en la potabilización se crea situaciones muy particulares, por lo tanto la selección de los procesos más adecuados estará en función del monitoreo y análisis de los lodos generados en este tratamiento. A continuación se proponen algunas alternativas para el manejo, tratamiento y disposición de lodos producidos en la potabilización en México.

V.2.1. ALTERNATIVAS DE SOLUCION PARA LODOS.

Basados en que los lodos generados en el país están constituidos por sulfato de aluminio y que este tiene efectos en el medio ambiente, a continuación se proponen las siguientes alternativas de solución, que son factiblemente aplicables a la realidad nacional:

- a) Tren general: tren de tratamiento para cualquier tipo de lodo, es el proceso al cual se debe someter cualquier tipo de residuo de las plantas potabilizadoras. Este tren se muestra en la Figura 5.2.
- b) Alternativa de solución para lodos de aluminio para plantas grandes (caudal de tratamiento mayor de $3 \text{ m}^3/\text{s}$), como por ejemplo las plantas de las ciudades más grandes del país como son: Distrito Federal y zona conurbada, Guadalajara, Jal. y Monterrey, Nvo. León. El tren se muestra en la Figura 5.3.
- c) Alternativa de solución para lodos de aluminio en plantas pequeñas (caudal de tratamiento menor de $3 \text{ m}^3/\text{s}$), es decir, plantas municipales o regionales del país. El tren se muestra en la Figura 5.4.

FIGURA 5.2 TREN DE TRATAMIENTO PARA LODOS.

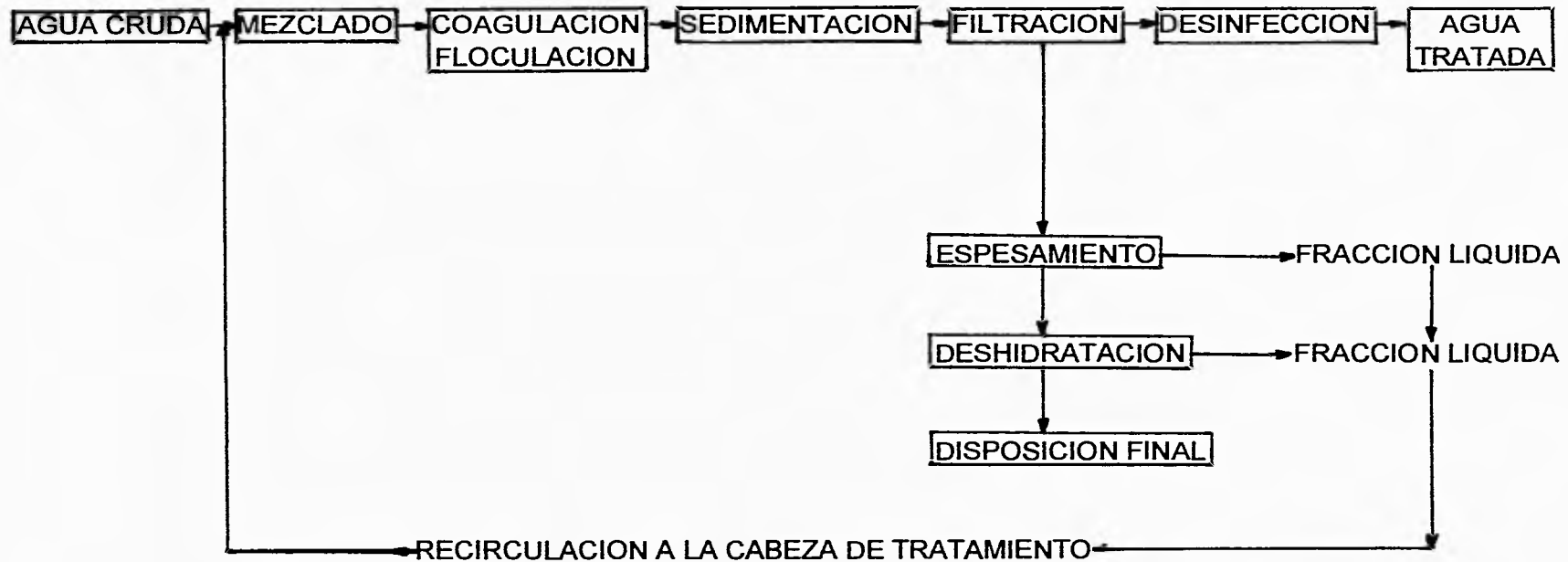


FIGURA 5.3 TREN DE TRATAMIENTO PARA LODOS PARA PLANTAS GRANDES.

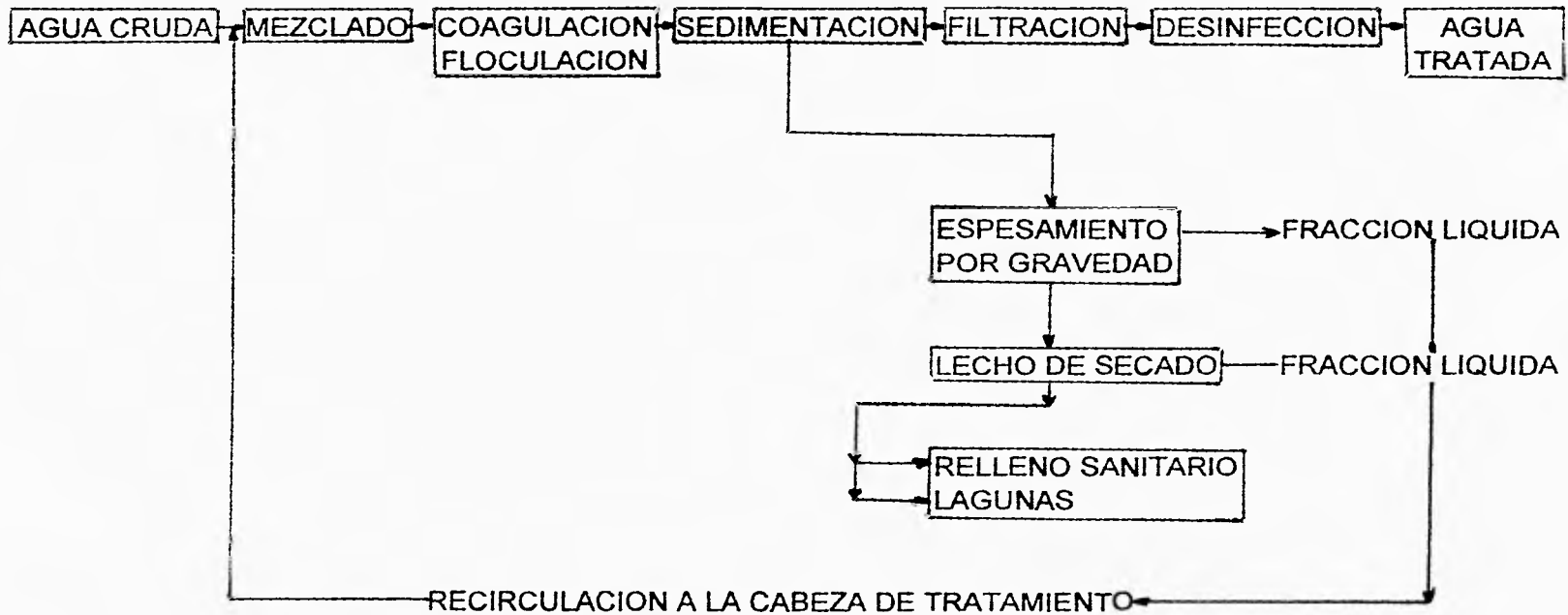
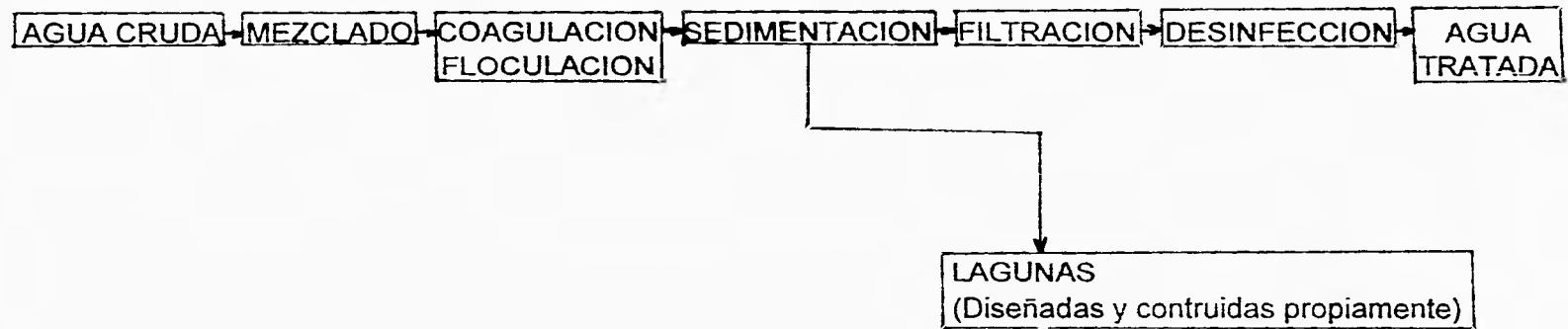


FIGURA 5.4 TREN DE TRATAMIENTO PARA LODOS PARA PLANTAS PEQUEÑAS.



A continuación se muestra en la Tabla 5.4 las ventajas y desventajas de los procesos propuestos.

TABLA 5.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PROCESOS EMPLEADOS EN EL TRATAMIENTO DE LODOS.

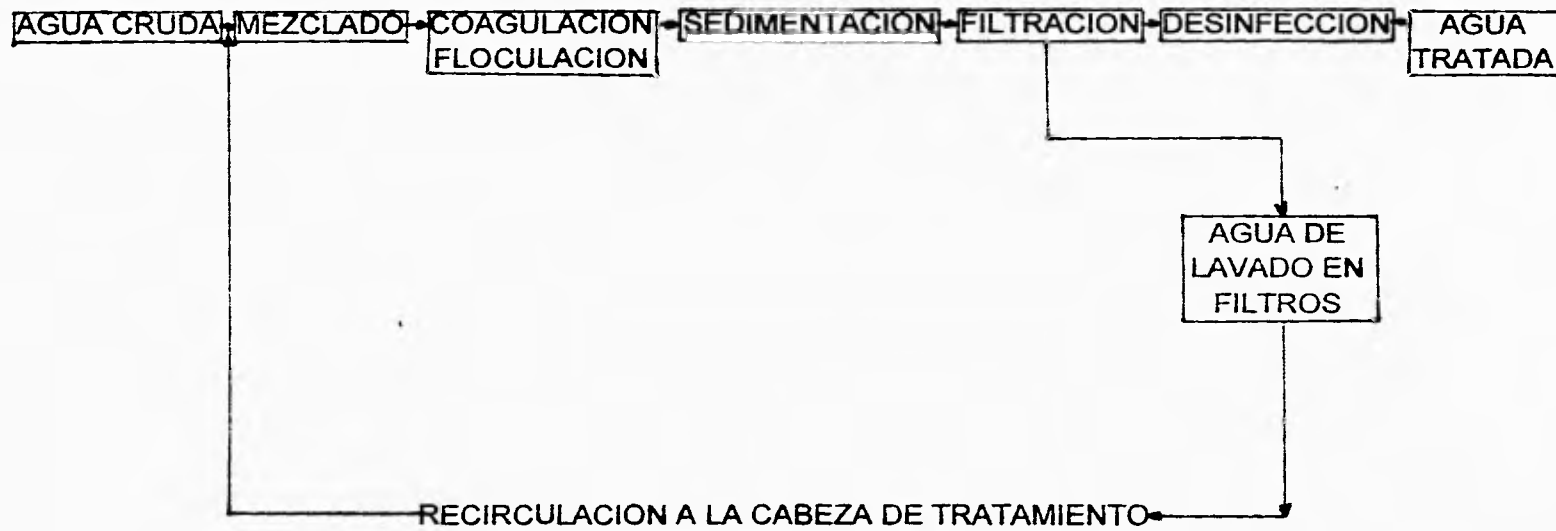
| PROCESO | VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|----------------------------|---|---|
| Espesamiento por gravedad. | Reducción del volumen del lodo. | Requerimiento de equipo mecánico. |
| Filtros prensa | Obtención de una pasta con alta concentración de sólidos, Baja concentración de sólidos en el líquido resultante | Reemplazo constante de telas de filtración, Tecnología de alto costo, Mayor requerimiento de mano de obra en relación a otros procesos de deshidratación. |
| Lechos de secado | Bajos costos de operación, Bajos consumos de energía, Simplicidad en su operación | Requerimiento de áreas grandes de terreno |
| Relleno Sanitario | Eliminación final | Disponibilidad de algún relleno en el área cercana a la planta |
| Lagunas | Eliminación final | Requerimiento de áreas grandes de terreno. Condenamiento del subsuelo de la laguna. |

V.2.2. ALTERNATIVAS DE SOLUCION PARA AGUA DE LAVADO EN FILTROS.

Se trata de recuperar este subproducto ya que es un caudal de agua significativa y contiene un bajo contenido de sólidos. Se propone lo siguiente:

a) Recircular el agua de retrolavado a la cabeza del tratamiento, con esto se disminuye significativamente el volumen de residuos, pero no se reduce la masa. Con esta recirculación se recupera el agua, pero no se controla la contaminación del agua a tratar. En la figura 5.5 se muestra el tren de disposición.

FIGURA 5.5 ALTERNATIVA (A) PARA AGUA DE LAVADO EN FILTROS.



- b) Alternativa de solución para plantas de caudal grande. Esta alternativa de solución propone un tren de tratamiento para el agua de retrolavado a fin de recuperar el caudal empleado en este proceso. En la Figura 5.6 se muestra el tren.
- c) Alternativa de solución para plantas con caudal pequeño. En la Figura 5.7 se muestra el tren de tratamiento.

A continuación se presenta en la Figura 5.8 la mejor alternativa de solución aplicable a la realidad del país. Este tren se puede aplicar a cualquier planta, con requerimiento de terreno disponible para la construcción de los mecanismos operadores de los sistemas. La ventaja de este tren es que no requiere de tecnología sofisticada, ni de personal capacitado para su operación. Con esta alternativa se puede dar un mejor uso a los subproductos, sin causar daños a la ecología y por lo tanto a la salud humana.

FIGURA 5.6 ALTERNATIVA (B) PARA AGUA DE LAVADO EN FILTROS, PLANTAS GRANDES.

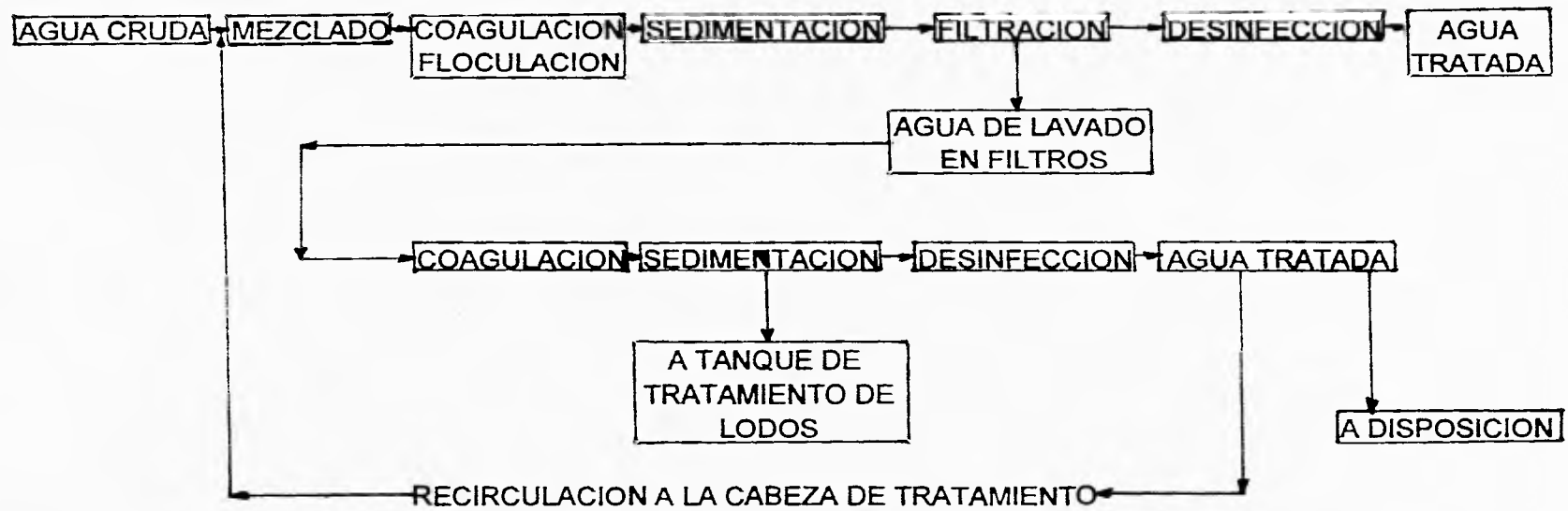


FIGURA 5.7 ALTERNATIVA (C) PARA AGUA DE LAVADO EN FILTROS, PLANTAS PEQUEÑAS.

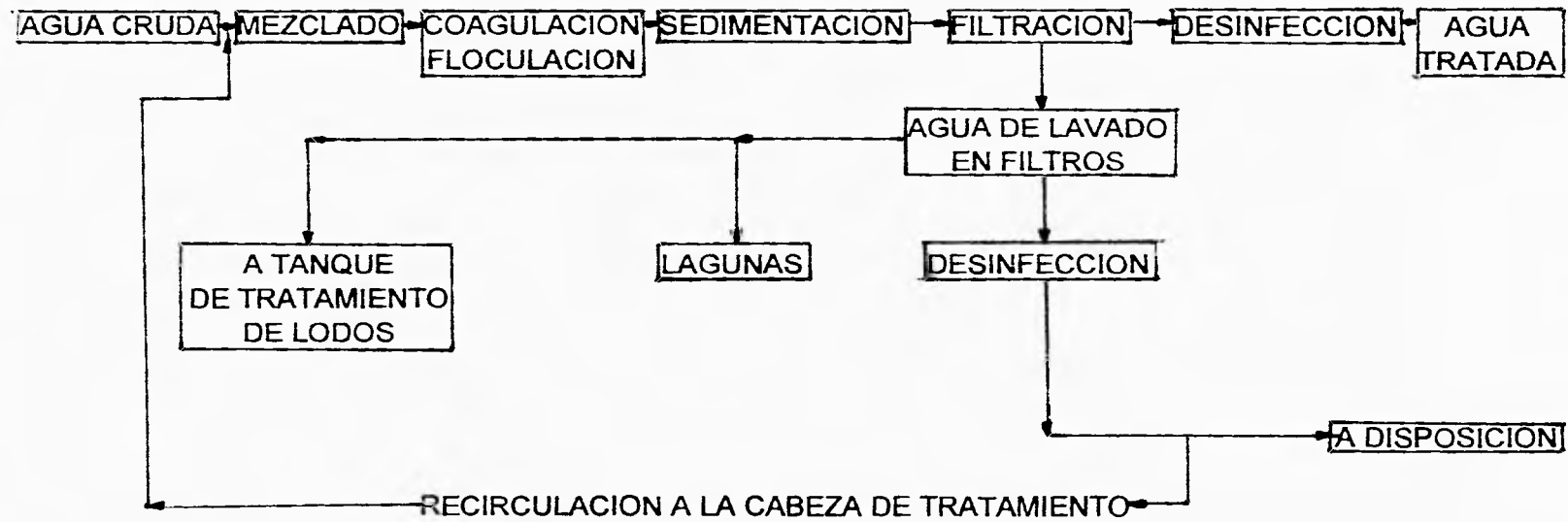
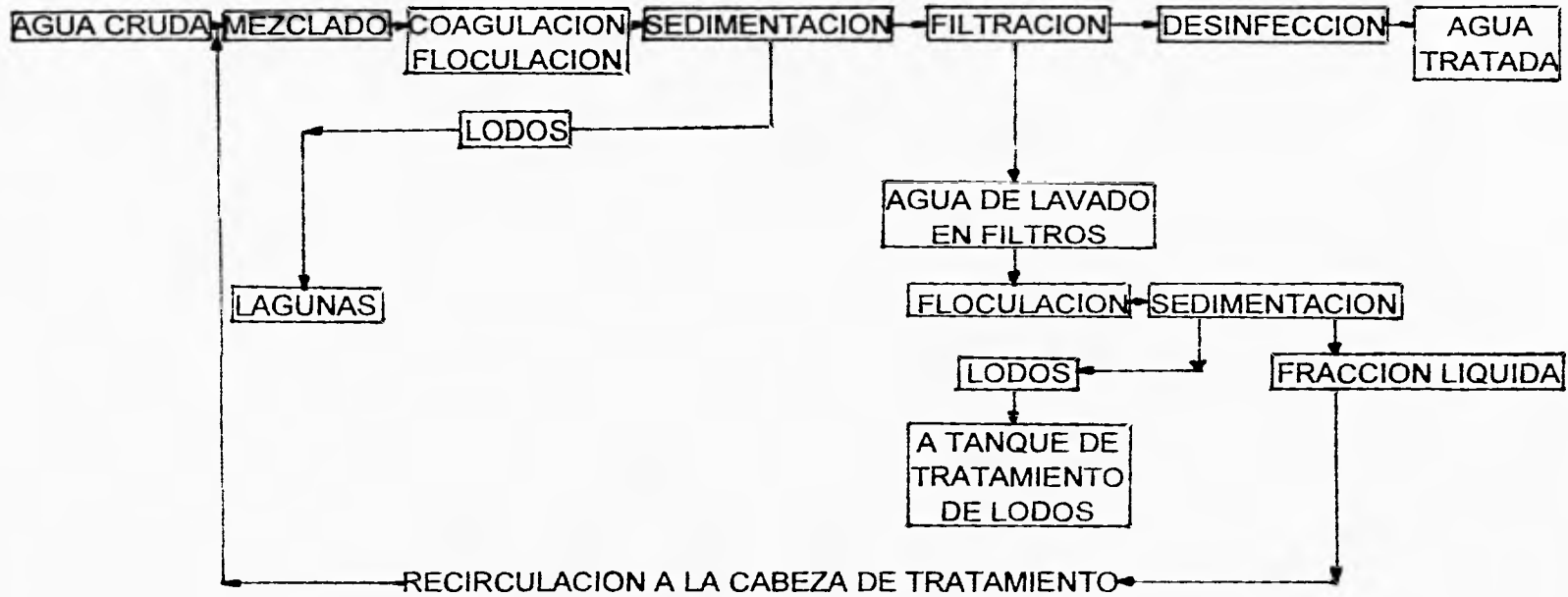


FIGURA 5.8 MEJOR ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO PARA LODOS Y AGUA DE LAVADO EN FILTROS, SEGUN LA SITUACION Y RECURSOS EN MEXICO.



CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI.1. CONCLUSIONES.

1. La potabilización en el país no ha tenido un completo desarrollo por falta de diversos recursos, se realizó un cambio en los límites permisibles de calidad del agua potable, pero es necesario vigilar el funcionamiento de las plantas y el cumplimiento de dichas normas.

2. Se concluye que esto obedece a:

- Falta de personal capacitado.
- Falla en los equipos por falta de mantenimiento.
- Escaso interés por parte de las autoridades correspondientes.

3. Los subproductos generados en la potabilización en el país representan un volumen considerable de residuos contaminantes al medio ambiente, que deben considerarse en la operación de las plantas.

4. En la mayoría de las plantas los lodos no tienen un tratamiento adecuado, esta situación viola las bases de la Legislación Ambiental.

5. No existe en el país fomento a la investigación en materia de estos subproductos, además de existir poca información en cuanto a la situación actual de la potabilización y por tanto de los lodos (por ejemplo se trató de anexar algunas manifestaciones de Impacto Ambiental de las plantas potabilizadoras del país, las cuales fué imposible consultar).

VI.2. RECOMENDACIONES.

Dado que es difícil que se tomen medidas de solución a corto plazo en el tratamiento de los lodos, debido a problemas económicos y políticos, se recomienda:

1. Que las autoridades responsables de la operación de los sistemas de Abastecimiento de Agua Potable utilicen y desarrollen metodologías de bajo costo y mejoren el desarrollo y funcionamiento de las plantas potabilizadoras, incluyendo por supuesto el manejo, tratamiento y disposición de los subproductos.

2. Realizar un estudio minucioso en cada planta para obtener las características y necesidades, para establecer las medidas de mitigación y solución de cada caso en particular.

3. Regular la disposición de estos residuos en la legislación correspondiente.

4. Aplicar tecnologías compatibles con la realidad nacional y que se contribuya con su experiencia al perfeccionamiento de las plantas potabilizadoras, incorporando mejoras y avances.

5. Ampliar los recursos económicos y humanos para el mejoramiento de la potabilización y la tecnología aplicada a la misma.

6. Realizar estudios profundos para la factibilidad de la recuperación de productos a partir de los lodos como un fuente de generación de recursos aprovechable para el país.

7. Fomentar la investigación en Institutos y Universidades respecto al desarrollo de tecnologías apropiadas para el correcto manejo, tratamiento y disposición de esos residuos antes de su disposición final.

BIBLIOGRAFIA

1. **Water Quality Treatment, a Handbook.** 4ta. Ed. Mac Graw Hill, 1990.
2. **Sludge: Handling and Disposal.** AWWA, 1989.
3. Slib, Schlamm. **Sludge.** AWWA. A Research Fundation, 1990.
4. **Design of municipal wastewater treatment plants.** Vol. II. WEF Manual of Practice No.8. ASCE Manual and Report No.70. 1992.
5. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. **Normas Técnicas para el Proyecto de Plantas Potabilizadoras.** Editado por SAHOP, 1979.
6. César Valdez, Enrique. **Impacto Ambiental.** UNAM, Facultad de Ingeniería, 1993.
7. **Manual Técnico del Agua.** Degremont, 4ta. De, 1979.
8. Kawamura, Susumu. **Integrated design of water facilities.** John Wiley and Sons, Inc. 1991.
9. Lucero, Baltazar. **Estudio preliminar de los lodos primarios y activados de exceso en la planta de tratamiento de aguas residuales "Chapultepec".** UNAM; Facultad de Ingeniería, 1986.
10. **Revista Ingeniería Ambiental.** Año 6, No. 15, 1993.
11. **Journal of AWWA.** Años: 1989, 1988, 1987, 1986.
12. **Apuntes de la clase de "Diseño de Plantas Potabilizadoras".** Profesor: M.I. Baltazar Lucero, 1994.

ANEXOS

ANEXO I

PROCESOS DE POTABILIZACION DEL AGUA EMPLEADOS EN EL PAIS.

Llamamos proceso a la operación unitaria física, química o biológica a la que se somete el agua con un fin determinado. En la potabilización existen diversos procesos y cuando se efectúan dos o más procesos se forma un tren de tratamiento. Los procesos de potabilización empleados en el país son:

Aereación.

La aereación es un proceso en el cual se trata de remover del agua los gases que pudiera contener esta, por medio de intercambio gas-líquido. Se utiliza aire atmosférico como única fase gaseosa, eliminando del agua todos los gases excepto los contenidos en el aire, y al mismo tiempo, enriqueciendo el agua en oxígeno.

La aereación se utiliza para reducir la concentración de sustancias productoras de olor y sabor en el agua. También debe ser utilizada para remover parcialmente aquellas sustancias que puedan interferir con los subsecuentes procesos del tren de tratamiento.

Algunos ejemplos de gases que pueda contener el agua son:

- El sulfuro de hidrógeno (H_2S), que da un sabor muy desagradable al agua.
- El oxígeno, cuando el agua se encuentra sobresaturada y su desprendimiento puede crear problemas en el funcionamiento de los sedimentadores (tendencia de los flóculos a elevarse a la superficie) y de los filtros, que sufren un falso atascamiento por desgasificación en el centro de la masa filtrante.
- El dióxido de carbono (CO_2), que hace agresiva el agua.

Si por el contrario el agua presenta ausencia de oxígeno; con la aereación se consigue entonces:

- la oxidación de los iones ferrosos y manganesos;
- la nitrificación del amoníaco, en ciertas condiciones;
- el aumento del contenido en oxígeno con el fin de que el agua sea agradable para la bebida. Aportando oxígeno a un agua rica en amoníaco o en sulfatos, se consigue, en ciertos casos, combatir la anaerobiosis y evitar la corrosión de tuberías metálicas.

Mezclado de productos.

El mezclado de productos es la operación unitaria en la cual se agregan productos químicos al agua con el fin de llevar a cabo las reacciones entre la masa problema (agua a tratar) y los productos químicos (coagulantes) en solución haciendo que el mezclado sea en menor tiempo y con su mayor eficiencia de

forma que los productos químicos aplicados al agua sean dispersados uniformemente en ella. Esto se logra por medio de una agitación violenta producida por medios mecánicos (retromezcladores de turbinas, paletas o hélices) o hidráulicos (conductos o canales, los canales pueden ser por mamparas o medidor tipo parshall).

Coagulación-Floculación.

Se llama coagulación al proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua llamadas floc. Dicho proceso se usa para:

(a) Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentar rápidamente.

(b) Remoción de color verdadero y aparente.

(c) Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.

(d) Destrucción de algas y plancton en general.

(c) Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos en otros.

Hay que distinguir dos aspectos fundamentales en la coagulación-floculación del agua:

(a) La desestabilización de las partículas suspendidas, o sea la remoción de las fuerzas que las mantienen separadas.

(b) El transporte de ellas dentro del líquido para que hagan contacto, generalmente estableciendo puentes entre sí y formando una malla tridimensional de coágulos porosos.

Al primer aspecto los autores suelen referirse como a coagulación y al segundo como a floculación (coagular viene del latín "coagulare" que significa aglutinar, flocular de "floculare" que significa hacer un floculo).

Coagulación.

La coagulación comienza en el mismo instante en que se agregan los coagulantes al agua y dura solamente fracciones de segundo. Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas, entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma.

Los coagulantes los podemos clasificar en dos grandes grupos: Los polielectrolitos o ayudantes de coagulación y los coagulantes metálicos. Ambos grupos básicamente actúan como polímeros (se entienden por polímeros las sustancias compuestas de una molécula básica llamada monómero, la cual se une a otras, formando una cadena compleja de muchos términos similares. A) además de la carga eléctrica que poseen.

En los primeros, las cadenas poliméricas están ya formadas cuando se los agrega al agua. En los segundos, la polimerización se inicia cuando se pone el coagulante en el agua, después de lo cual viene la etapa de adsorción por los coloides presentes en la fase acuosa.

Es, sin embargo, necesario observar que la velocidad de sedimentación de las partículas coaguladas no depende en forma exclusiva de los coagulantes usados, sino del peso de las partículas que se trata de sedimentar, esta consideración es muy importante para el diseño de los equipos y mecanismos que intervienen en el tratamiento.

Los coagulantes que se utilizan dentro de la potabilización son:

a) Polielectrolitos.

En los últimos 15 años se ha venido usando en los Estados Unidos y Europa, polielectrolitos naturales o sintéticos ya sea como coagulantes o como ayudantes de coagulación. Los polielectrolitos son una serie de compuestos orgánicos muy variados en su estructura química, como derivados del almidón y la celulosa, materiales proteicos y otros muchos, los cuales se producen en forma sintética. Existen más de 100 marcas comerciales.

Químicamente son polímeros de alto peso molecular (104 - 107) con un gran número de sitios activos en sus largas cadenas orgánicas, que pueden ser lineales o con brazos, compuestos de un solo tipo de monómero o de varios tipos; pero, en todos los casos, forman macromoléculas de tamaño coloidal.

Los polielectrolitos se clasifican de acuerdo con su carga en aniónicos y catiónicos, según que los grupos ionizables que posean sean negativos o positivos. También pueden ser iónicos, cuando poseen grupos ionizables.

b) Coagulantes metálicos.

Existe una variedad bastante grande de coagulantes metálicos todos los cuales los podemos clasificar en tres tipos: sales de aluminio (sulfato de aluminio, sulfato de aluminio amoniacal y aluminato de sodio) y sales de hierro (cloruro férrico, sulfato férrico y sulfato ferroso).

SALES DE ALUMINIO.

Las sales de aluminio forman un floc ligeramente pesado. El Sulfato de Aluminio es el coagulante que por su bajo costo y su manejo relativamente sencillo, se usa con mayor frecuencia en las plantas de tratamiento de agua potable, por lo cual lo vamos a estudiar en detalle.

El Sulfato de Aluminio (alumbre) es un polvo de color marfil, ordinariamente hidratado, que con el almacenaje suele convertirse en terrones relativamente duros. Al echarlo al agua reacciona con la alcalinidad, para formar hidróxido de aluminio. Por tanto debe haber cierta alcalinidad presente en el agua para que el alumbre pueda reaccionar. Cuando ésta no existe naturalmente, es necesario

añadirla en forma de carbonato de calcio, de carbonato de sodio (soda ash) o de óxido de calcio (cal apagada).

La fórmula de alumbre es: $Al_2(SO_4)_3$

De acuerdo a su forma o estado tiene un peso de (Kg/m^3):

- granos 912 - 1136
- molido 960 - 1136
- líquido 1300

El sulfato de aluminio en forma de sólido absorbe humedad del aire y se vuelve corrosivo, por lo tanto, se debe asegurar que la zona de almacenamiento no sea húmeda. Su embarque puede ser en: Bolsas (45 kg), tambores (180 kg) y a granel.

En forma líquida su embarque es en carros tanque, con una concentración de 49% como sulfato de aluminio hidratado y se debe almacenar en depósitos de acero inoxidable, acero recubierto con hule o de fibra de vidrio y plástico. Los tanques en el exterior deben ir cubiertos y tener ventilación. El coagulante se puede almacenar indefinidamente sin que se deteriore.

SALES DE HIERRO.

Las sales de hierro para la coagulación tienen su ventaja sobre el alumbre en algunos casos, especialmente porque forman un floc más pesado y de mayor velocidad de asentamiento y porque pueden trabajar con un rango de pH mucho más amplio. Por tanto se usan cuando el sulfato de aluminio no produce una coagulación adecuada o cuando los sedimentadores están demasiado recargados y resulta económico aumentar el peso del floc para incrementar la eficiencia de ellos. Esto es para las aguas con valores altos de color.

Las más conocidas de las sales de hierro son: el cloruro férrico, el sulfato férrico y el sulfato ferroso. En el país ocasionalmente se utiliza el cloruro férrico y lo describiremos a continuación.

El cloruro férrico se consigue en tres formas: como cristales hidratados ($FeCl_3 \times H_2O$) amarillos o cafés, como cristales anhidros ($FeCl_3$) de color verde oscuro, o como solución del 35% a 45%.

Cualquiera que sea su forma, el cloruro férrico se aplica en solución del 2% al 20% según el tamaño de la planta y la capacidad del aparato dosificador.

El cloruro férrico puede trabajar con pH tan bajo como 4 y tan alto como 11. Sin embargo se suele utilizar más bien con agua ácida y blanda, fuertemente coloreada y que contiene ácido sulfhídrico.

CAL.

La cal es el producto químico que se utiliza para el ablandamiento del agua. La cal se utiliza en forma de polvo resultante de la hidratación de la cal viva (CaO), de forma que se anule químicamente su afinidad por el agua. Se compone esencialmente de hidróxido cálcico, de hidróxido magnésico y de impurezas (carbonatos de calcio y sílice). Su solubilidad al agua decrece con la temperatura.

ZEOLITAS.

Las zeolitas son intercambiadores iónicos que nos sirven para el ablandamiento del agua. Estas sustancias tienen la propiedad de cambiar el catión Na^{++} por otros cationes que tenga el agua. Existe gran variedad de zeolitas, pudiendo clasificarse de acuerdo a su composición química en: orgánicas e inorgánicas. Pueden ser naturales o sintéticas. Entre las orgánicas se tienen: tipo resinoso y tipo carbonoso. Entre las inorgánicas: tipo silíceo y tipo gelatina sintética. Cada uno de estos tipos de zeolitas tiene sus características propias, las que deben tenerse en cuenta para los distintos tipos de aguas.

Floculación.

La floculación es el fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para formar coágulos mayores, lo que permite la sedimentación de todos los sólidos (suspendidos y disueltos).

Sedimentación.

Es la operación unitaria en la cual se separa del agua la materia en suspensión por el asentamiento gravitacional de dicha materia en forma de flóculos.

La separación de sólidos por sedimentación se divide en: a) sedimentación de partículas discretas y b) sedimentación de partículas aglomerables.

Se entiende por sedimentación de partículas discretas aquella en que los sólidos no cambian de densidad, tamaño o forma de descender en el líquido. Se entiende por sedimentación de partículas aglomerables aquella en que los sólidos al descender en el líquido se adhieren o aglutinan entre sí, cambiando de tamaño, forma y peso específico durante la caída.

Los sedimentadores según su carga superficial pueden clasificarse en dos tipos: de baja velocidad de separación y de alta velocidad de separación. Los primeros pueden ser de flujo horizontal y de flujo vertical o manto de lodos. Los segundos pueden ser de pantallas o celdas.

Los sedimentadores pueden ser circulares, cuadrados o rectangulares y se clasifican de acuerdo a su mecanismo en convencionales y de alta tasa. Los de alta tasa son una modalidad de la sedimentación convencional que consiste en agregar al tanque placas inclinadas con el fin de incrementar y facilitar el escurrimiento de los flocs.

Recarbonatación.

Es la operación posterior al ablandamiento por precipitación química, en el cual se aplica al agua bióxido de carbono para que reaccione con el exceso de cal, previniendo así las incrustaciones en las tuberías y en los lechos en los filtros.

Filtración.

Es el proceso por medio del cual se separa del agua la materia en suspensión, pasándola a través de un material poroso. El objetivo básico de la filtración es separar las partículas y microorganismos objetables, que no han quedado retenidos en el proceso de sedimentación. En consecuencia el trabajo que los filtros desempeñan, depende directamente de la mayor o menor eficiencia de los procesos preparatorios.

La filtración puede efectuarse en muchas formas distintas: con baja carga superficial (filtros lentos) o con alta carga superficial (filtros rápidos), en medios porosos (pastas arcillosas, papel de filtro) o en medios granulares (arena, antracita, gránate o combinados), con flujo ascendente de abajo hacia arriba o descendente de arriba hacia abajo y mixto (parte ascendente y parte descendente). Por último, el filtro puede trabajar a presión o por gravedad, según sea la magnitud de la carga hidráulica que exista sobre el lecho filtrante.

Tradicionalmente en las plantas de tratamiento de agua potable se han utilizado filtros de arena con flujo descendente por gravedad.

El sentido de flujo de los filtros ha permanecido descendente especialmente en las Américas, pero se han hecho ensayos en Europa y Rusia con filtros de flujo ascendente o mixtos con resultados satisfactorios.

El agua, ya sea sedimentada o no, que entra a un filtro, contiene una variedad muy grande de partículas en suspensión. Su tamaño puede variar desde floculos relativamente grandes de 1 mm de diámetro hasta coloides, bacterias y virus con tamaños inferiores a 10-3 mm. Dentro de esta gama, se puede encontrar partículas electropositivas, electronegativas y neutras, o microfloculos con polímeros adsorbidos. Todo este conjunto queda en mayor o menor proporción retenido en el lecho filtrante, preferentemente adherido a la superficie de sus granos formando una película alrededor de ellos, cuya resistencia al esfuerzo cortante producido por la fuerza de arrastre del flujo, es función de la magnitud de las fuerzas que mantienen pegadas las partículas a cada elemento del medio granular. Si estas fuerzas son débiles, el floc será arrastrado por el flujo y penetrará cada vez más hondo, hasta que eventualmente aparecerá en el efluente. Si son en cambio fuertes, el floc quedará retenido obstaculizando el paso del agua, temporalmente.

Resulta aquí, que el mecanismo que transporta la materia en suspensión dentro del lecho filtrante y lo adhiere con mayor o menor eficiencia a él, tiene que ser distinto según sea el tamaño de las partículas, su densidad y las características electroquímicas que posea.

En el proceso de filtración ocurren dos etapas distintas pero complementarias que son la transportación de las partículas dentro de los poros y la adherencia a los granos del medio.

Existen diversos tipos de filtración que son:

Filtración directa. Es el proceso en el que el agua procedente de la coagulación pasa directamente al filtro eliminándose la sedimentación.

Filtración lenta. Es el proceso de potabilización en el cual se emplea como medio filtrante arena graduada no estratificada, y en donde la remoción mecánica de la materia en suspensión es acelerada por acción biológica.

Filtración rápida. Es el proceso de potabilización en el cual se emplea como medio filtrante arena graduada estratificada y en algunos casos antracita o tierra diatomácea, y en donde la remoción mecánica de la materia en suspensión es acelerada por el previo tratamiento químico del agua.

Desinfección.

La desinfección se define como la destrucción de microorganismos patógenos. En México por la influencia que se tiene de los Estados Unidos, la desinfección del agua potable y del agua residual tratada se realiza casi exclusivamente mediante el uso de cloro.

La cloración de aguas para uso potable fue introducida en los Estados Unidos de América en el año de 1908. Un resultado directo de esa acción es que hubo un decremento en la incidencia de enfermedades causadas o transmitidas por el agua.

Los productos químicos que pueden utilizarse son:

a) Cloro: Es el más utilizado para la desinfección del agua. El cloro es un elemento químico. El cloro envasado existe en forma de gas o de líquido. El cloro es poco soluble en el agua. El cloro es un agente oxidante, cuando el agua es clorada, el cloro reacciona rápidamente con cualquier sustancia oxidable presente; esta es la función bactericida del cloro.

a) Cloraminas: Son antisépticos muy estables, cuya acción es menos rápida que la del cloro, pero que subsisten en el agua durante un tiempo mayor.

b) Dióxido de cloro: Es un gas de color amarillento y de olor penetrante. Es un agente muy oxidante, de gran poder decolorante y desodorizante. Su acción sobre los elementos patógenos, es por lo menos igual a la del cloro. Debe utilizarse con preferencia al cloro, cuando el agua a tratar contiene trazas de fenoles que pueden combinarse con el cloro y comunicar al agua un sabor desagradable.

c) Hipoclorito sódico: Comúnmente denominado agua de Jave o lejía, se caracteriza por su contenido en cloro activo. La solución de hipoclorito se añade al agua a tratar en forma comercial concentrada, o en caso de caudales muy pequeños, en forma diluida.

Desalación.

La desalación es el proceso físico por el cual se separa del agua las sales minerales que esta contiene. La desalación se realiza por medio del proceso de membrana. Este proceso consiste en aplicar las propiedades de semipermeabilidad de ciertas membranas (permeables al agua y a ciertos solutos, pero impermeables a otros, así como a toda partícula). Se tiene muchas alternativas diferentes, como la ósmosis inversa, ultrafiltración, nanofiltración, electrodiálisis, electrodiálisis inversa, destilación, congelamiento y otros métodos. El procedimiento más utilizado es la ósmosis inversa (también denominada hiperfiltración) y es el proceso de desalación que se aplica en el país.

El principio básico de este proceso consiste en someter al agua a fuerzas de presión con el fin de acelerar la filtración. A una membrana de ósmosis debe considerársele como una barrera de difusión no porosa en la que las transferencias tienen lugar por disolución de las especies moleculares de la solución en el interior de la membrana, y seguidamente por difusión de las mismas (solutos y solventes) bajo el efecto de gradientes de concentración y de presión que modifican el potencial químico de la solución en el material de la membrana.

Desferrización y desmanganización.

El hierro y el manganeso deben eliminarse de las aguas de consumo, por diversas razones: causas de corrosión o de obstrucción de las tuberías (directamente, por precipitación y formación de depósitos, o indirectamente, favoreciendo el desarrollo de bacterias específicas); aspecto del agua y da sabor metálico a ésta; inconveniente en el lavado de la ropa

Cuando el hierro y el manganeso están de forma soluble su remoción se hará por medio de aireación seguida de un lecho de contacto (grava gruesa, arena, etc.) depositándose en ellos el óxido de hierro recomendándose a continuación sedimentar.

Para la remoción del manganeso, que depende más de las reacciones de contacto que el hierro, se puede utilizar en algunos casos lechos de pirolusita.

Cuando el hierro y el manganeso están unidos o forman complejos orgánicos, se removerán por procesos similares a los de clarificación o ablandamiento.

Se puede remover el hierro y el manganeso por intercambio catiónico sin requerirse aireación. Cuando los iones hierro y manganeso es en forma soluble, se encuentran en aguas de acuíferos subterráneos, las cueles se captan por pozos, estas se tratan por medio de la adición de poli-fosfatos que actúan como "secuestradores" de los mencionados iones, teniéndose que dosificar en la propia obra de captación, a nivel del acuífero y antes de que las aguas se aereen. El procedimiento comúnmente usado en estos casos se llama "Método de Illig".

A continuación se mencionaran los principales trenes de tratamiento utilizados en el país, así como los procesos que los constituyen.

Clarificación completa (CC).

La clarificación completa tiene por objeto eliminar la turbiedad y el color en las aguas. En el país es el tren que más se aplica debido a las características de las fuentes de abastecimiento y también por ser un medio económico, confiable y no requiere de elementos sofisticados para su mecanismo.

Ablandamiento.

El ablandamiento es el proceso de remoción de los iones calcio y magnesio, principales causantes de la dureza del agua. La dureza es originada principalmente por sales de calcio, cuya precipitación y sedimentación origina problemas económicos, por ejemplo incrustación de tuberías así como mayor consumo de jabón.

La dureza en el agua se presenta en forma de dureza de carbonatos y no carbonatos.

El ablandamiento se puede dar por precipitación química, con intercambiadores catiónicos y por proceso mixto: cal-intercambiadores catiónicos

El ablandamiento por precipitación química se realiza con cal en aquellas aguas con características predominantes de dureza de carbonatos, y con cal de sodio en las aguas con dureza de carbonatos y no carbonatos.

ANEXO II

CUANTIFICACION DE LODOS

CUANTIFICACION DE LODOS DE ALUMINIO.

Para la cuantificación de los residuos se tomarán en cuenta los siguientes parámetros:

- Gasto o caudal:

El gasto total nacional es: 74,028.5 l/s.

Del total de las plantas el 72.1% es tratado por clarificación completa.

Por lo tanto el gasto de operación en las plantas de clarificación completa es:

$$Q = 74.03 \text{ m}^3/\text{s} (.721) = 53.38 \text{ m}^3/\text{s} = 4,612,032 \text{ m}^3/\text{d}$$

- Dosis de coagulante:

Coagulante: Sulfato de Aluminio.

Dosis: de 30 a 60 mg/l. La dosis depende de las características del agua y turbiedad a remover. Para nuestro caso tomaremos el valor de 30 mg/l que es el valor que generalmente se aplica en el país (fuente: CNA).

- Turbiedad:

El valor de la turbiedad es muy variable dependiendo de la fuente y época del año, consideraremos 100 U.N.T. (fuente: Normas Técnicas Mexicanas) porque es a partir de este valor que se aplica en el país el tren de clarificación completa. Existen algunas fuentes que en época de lluvia alcanzan las 1000 U.N.T. o más.

Cálculos:

(1) C_o = Concentración inicial en sólidos suspendidos

$$C_o = \text{Turbiedad de entrada} \times 1.3^*$$

$$C_o = 100 \text{ UNT} \times 1.3 = 130 \text{ mg/l}$$

(2) C_c = Concentración final = Turbiedad de salida ** $\times 1.3^*$

$$C_c = 5 \text{ mg/l} \times 1.3 = 6.5 \text{ mg/l}$$

* 1.3 es el rango entre sólidos suspendidos totales (mg/l) y turbiedad (UNT) y varía de 1.0 a 2.0.

** limite permisible de turbiedad de las normas mexicanas, ver anexo:tabla 7.1.

- (3) $Cr = \text{Concentración a remover} = Co - Cc$
 $Cr = 130 - 6.5 = 123.5 \text{ mg/l}$
- (4) $St = \text{Sólidos totales a remover} = Cr + Cd$
 $Cd = \text{Sólidos contenidos en la dosis} = \text{Dosis} \times 0.26^{***}$
 $Cd = 30 \text{ mg/l} \times 0.26 = 7.8 \text{ mg/l}$
 $St = 123.5 + 7.8 = 131.3 \text{ mg/l}$
- (5) $Wsd = \text{Peso de sólidos por día} = Q \text{ m}^3/\text{d} \times St \text{ kg/m}^3$
 $St \text{ en kg/m}^3 = 131.3 \text{ mg/l} \times 1000 \text{ l/m}^3 \times 1 \text{ kg}/1000000 \text{ mg} = 0.1313 \text{ kg/m}^3$
 $Wsd = 4,612,032 \text{ m}^3/\text{d} \times 0.1313 \text{ kg/m}^3 = 605,559.8016 \text{ kg/d} = 605.56 \text{ Ton/d}$
- (6) $Ts = \text{Total de sólidos (kg/d)} = Wsd / Ps$
 $Ps = \text{Porcentaje de sólidos} = \text{varía de 1 a 3\%, tomaremos 2\%}$
 $Ts = 605559.8016 / 0.02 = 30,277,990.08 \text{ kg/d}$
- (7) $Vt = \text{Volumen total} = Ts \text{ kg/d} / 1000 \text{ kg/m}^3$
 $Vt = 30,277,990.08 / 1000 = 30,278 \text{ m}^3/\text{d}$

*** porcentaje de dureza de sulfato de aluminio (Kawamura, 1991).

CUANTIFICACION DE AGUA DE RETROLAVADO.

El volumen total de agua que se utiliza para el lavado de filtros se considera que esta en el rango de 2% a 5% (Kawamura, 1991) del caudal total de agua tratada, consideraremos el valor de 3% para efectos de calculo. Este liquido tiene del 0.01% al 0.04% de concentración de sólidos, (Kawamura, 1991), consideraremos el valor de 0.02% para efectos de calculo.

Cálculos:

- (1) $\text{Caudal de agua de retrolavado} = Var = Q \text{ (m}^3/\text{d)} \times 0.02$
 $Var = 4,612,032 \times 0.03 = 138,360 \text{ m}^3/\text{d}$
- (2) $Ps = \text{Porcentaje de sólidos} = 0.02\% = 200 \text{ mg/l} = 0.2 \text{ kg/m}^3$
 $Ts = \text{Contenido de sólidos} = 138,360 \times 0.2 = 27,700 \text{ kg/d} = 27.70 \text{ Ton/d}$