

11055
211



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
MEDIANTE FILTRACION LENTA (SIN CLORACION)"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A N :

JAIME Z. GUTIERREZ LEGORRETA

VICTOR HUGO GOMEZ CISNEROS



MEXICO, D. F.

1992

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Nº 55
261



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
MEDIANTE FILTRACION LENTA (SIN CLORACION)"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A N :

JAIME Z. GUTIERREZ LEGORRETA

VICTOR HUGO GOMEZ CISNEROS



MEXICO, D. F.

1992

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INDICE

	PAG.
CAPITULO 1	
INTRODUCCION	1
CAPITULO 2	
OBJETIVO, ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION	8
2.1. Objetivo	9
2.2. Alcance	10
2.3. Antecedentes	11
CAPITULO 3	
FUENTES DE ABASTECIMIENTO	25
3.1. El ciclo hidrológico	26
3.2. Fuentes de abastecimiento	28
3.3. Calidad del agua	46
3.4. Captación y distribución	53
3.5. Gastos de diseño	57
3.6. Distribución	59
3.7. Población de proyecto	61

CAPITULO 4

LOS PROCESOS DE POTABILIZACION	64
4.1. Sedimentación	65
4.2. Procesos Físicos	73
4.3. Procesos Químicos	80
4.4. Remoción de Hierro y Manganeso	89
4.5. Desinfección	91

CAPITULO 5

LA FILTRACION EN LOS PROCESOS DE POTABILIZACION	95
5.1. Filtración rápida	96
5.2. Filtración por tierra diátomea	108
5.3. Microfiltración	110
5.4. Filtración a presión	113
5.5. Filtración de cartucho	117

CAPITULO 6

FILTRACION LENTA	118
6.1. Antecedentes	119
6.2. Principios de operación	122
6.3. Teoría sobre la filtración	124
6.4. Medio filtrante	131
6.5. Pérdida de carga	137

6.6. Lavado del filtro	143
6.7. Drenes	144
6.8. Tasas de filtración	147
6.9. Operación	150
6.10. Equipo	152
6.11. Costos	153

CAPITULO 7

EVALUACION EXPERIMENTAL DE REMOCION DE DUREZA Y SOLIDOS

DISUELTOS EN FILTROS LENTOS 154

7.1. Selección de sitios de muestreo y búsqueda de bancos de material	155
7.2. Equipo empleado y pruebas a realizar	157
7.3. Pruebas de campo	158
7.4. Preservación de muestras	162
7.5. Pruebas bacteriológicas practicadas en laboratorio y resultados	163
7.6. Limpieza de arena y grava	164
7.7. Remoción de dureza	167

CAPITULO 8

EJEMPLO DE LA APLICACION EN LA CONGREGACION "FRANCISCO

"VILLA" (TAMAULIPAS)	179
8.1. Población de proyecto y dotación elegida	180
8.2. Recomendaciones para el pozo	182

8.3. Diseño conceptual del tanque de regularización	184
8.4. Diseño conceptual de la tubería	186
8.5. Diseño conceptual del tanque de filtración lenta	187
8.6. Recomendaciones para el Sistema de Bombeo	191
8.7. Red de Distribución e Hidrantes	192
8.8. Perfil de la planta	194
CAPITULO 9	
CONCLUSIONES	195
BIBLIOGRAFIA	197
APENDICE	203

CAPITULO 1

INTRODUCCION

El agua es indispensable para todo ser viviente; sin ella el grado de desarrollo alcanzado por la humanidad no habría sido posible. Sin agua las industrias cesarían de funcionar tal como si se les desconectara de la electricidad. El agua es la sangre de las industrias. El líquido vital refrescará a miles de personas antes de partir a sus trabajos y servirá para preparar sus alimentos durante el transcurso del día.

Después del aire, es la sustancia más necesaria para sostener la vida en el hombre. Sin alimento, el hombre puede vivir por más de un mes. Sin agua, o bebidas ni comestibles que contengan agua, el humano muere en cuestión de una semana. Si el cuerpo pierde más de un 20% de su contenido normal de agua, la persona sufrirá una muerte dolorosa.

Así pues, en el transcurso de la historia humana, la búsqueda de agua ha llevado al hombre a utilizar su ingenio para proveerse de ella cuidando tanto la cantidad como la calidad.

Nuestro país tiene un largo recorrido en esta actividad, ya que más del 50% del territorio es desértico o montañoso y el agua no es fácil obtenerla. Ya en la época moderna con el advenimiento de la crisis económica, los servicios públicos escapan de las posibilidades presupuestales de los municipios (construcción de sistemas de agua potable y alcantarillado, alumbrado público, limpia, seguridad pública, mercados, etc.). Se provocó una insuficiencia de las fuentes de abastecimiento disponible para construcción de obras públicas y ha reducido la solvencia independiente de los municipios.

La instalación del agua potable en los municipios se ha convertido en un gasto oneroso para los ayuntamientos ya que ésta debe entubarse y traerse desde regiones lejanas. La Federación ha tenido que sufragar los gastos, o en su caso el Estado otorgando créditos, que en muchas ocasiones deben declararse incobrables ante la insolvencia de muchos municipios.

Por otra parte, diversos factores impiden el buen funcionamiento del servicio de agua potable; son bastantes y de diversa índole, destacando:

1. Carencia de estudios técnicos que determinen la capacidad de las fuentes de abastecimiento cercanos al municipio.

2. Se desconocen las medidas necesarias para conservar y mantener en buen estado las fuentes de abastecimiento.

3. Contaminación de las fuentes de abastecimiento.
4. Se desaprovechan las aguas tratadas en actividades que no requieren de agua potable.
5. Existencia de tomas clandestinas.
6. Grupos económicamente poderosos acaparan el agua.
7. Mantenimiento deficiente del sistema.
8. Falta de precisión en los proyectos.
9. Carencia de recursos económicos para la construcción y/o ampliación del sistema.
10. Desconocimiento de la utilidad de tecnologías no convencionales para resolver el problema de agua en las comunidades.

La importancia de este último punto es fundamental. Se requiere que nosotros como Ingenieros busquemos tecnologías, innovaciones que abaraten los costos de construcción de los servicios de agua potable. Se deben realizar intensas labores de capacitación, asesoría técnica y organización de trabajo comunitario tendiente a la autoconstrucción, o construcción compartida (léase

PRONASOL) de sistemas de agua potable, con base en las características geográficas y culturales de cada región. También se debe poner especial atención en el desarrollo del medio rural, el cual es el más desfavorecido en esta región.

Debemos desencadenar procesos de innovación tecnológica que vuelvan a permitir a los municipios construir servicios públicos. Mediante la aplicación de tecnologías alternativas se puede vincular el trabajo comunitario e institucional de cada región lográndose una autosuficiencia en lo que se refiere a prestación y construcción de obras y servicios públicos que son clave para el desarrollo integral comunitario.

Por otra parte, revisando la evaluación realizada por la ONU en México, de los resultados que el Decenio Internacional del agua produjo se tiene que:

- Se tuvo un retroceso significativo durante ese período de tiempo.

- Hay 26 millones de habitantes sin servicio de agua y 44 millones sin alcantarillado sanitario.

- Los que reciben los servicios lo hacen de manera deficiente.

Cada vez son menos los sistemas que desinfectan el agua de manera satisfactoria a pesar de que la calidad del agua que se utiliza desde las fuentes convencionales de abastecimiento ha sufrido un grave deterioro.

Son continuas las interrupciones del servicio, generando con ello inconformidad en el usuario y un triste panorama en cuanto a la eficiencia operativa. Causa de esto son fallas en proyectos o constructivas, y nula atención en operación y mantenimiento de los sistemas.

Durante 1981/90 el número de mexicanos beneficiados con los servicios fue de un millón de habitantes en agua y 500 mil en alcantarillado anualmente. Quiere decir que se requiere que para el año 2000 tendremos que mejorarlo, o solo diez y cinco millones de mexicanos respectivamente tendrán acceso a estos servicios. Situación que se reflejará en un detrimento de la salud del pueblo mexicano.

Es en este marco de circunstancias que se presenta este trabajo enfocando la filtración lenta como una opción a la solución de los problemas antes mencionados. Aceptando que no es una innovación tecnológica, ni mucho menos, se puede decir que se rescata este sistema como una alternativa un poco olvidada pero no por eso obsoleta.

Por el contrario, representa grandes ventajas con respecto a otros métodos de purificación de agua. Es adecuado a las condiciones de muchas zonas de la República Mexicana, ya sea por su reducida demanda de mantenimiento, por su alta eficiencia en la remoción de sustancias y de bacterias o por su nulo o casi nulo uso de coagulación y decantación previas mediante reactivos, sólo por mencionar algunas ventajas.

Desde que nació este método en 1804 en Paisley, Escocia (imitación de uno de tantos procesos que existen en la Creación), se observó que los filtros no solo hacían un proceso de cribado sino que transformaban la materia orgánica. Como ejemplo irrefutable de las ventajas de la filtración lenta por arena podemos citar el caso de la explosión de cólera de 1892 en las ciudades de Hamburgo y Altona (tan sólo siete años después de que el Dr. Koch halló que al utilizar este método, cerca del 99% del número total de microorganismos se eliminaba), donde las dos ciudades usaban el agua del río Elba: Altona la tomaba por debajo de la ciudad de Hamburgo, es decir, recibía las excretas de 800,000 habitantes; a pesar de lo cual, filtraba sus aguas por arena, con lo cual las defunciones por cólera fueron de 2.21 por 1,000. Hamburgo, que captaba el agua antes de contaminarlas con sus propias deyecciones (por encima de la ciudad y más puras que en Altona), no la filtraba y por lo tanto tuvo 12.5 muertes por 1,000.

Podríamos seguir dando ejemplos, pero sólo haremos mención de que no necesariamente lo más nuevo o más rápido o lo más económico es lo mejor, para todas las situaciones.

Tomando la opinión de Allen-Hazen y considerada por los técnicos más eminentes de Estados Unidos: la filtración lenta, la imitación pura y simple del proceso natural de percolación en las capas del terreno, es en sí el proceso que ayudará a la humanidad, que ha tomado conciencia de su destino, a consagrar lo esencial de sus esfuerzos a las obras de vida exclusivamente. Y entonces,

volverá a concepciones más severas en materia de higiene y más justas en lo que se refiere al verdadero confort material y entonces rehusará sacrificar la más pequeña parcela de calidad de agua a necesidades momentáneas por legítimas que sean.

Este método no provee una mejor solución desde todos los puntos de vista que otros métodos más o menos sofisticados, pero es evidente que si se quiere superar nuestros rezagos en agua y saneamiento, aparte de invertir cuantiosas cantidades de dinero, debemos mostrar imaginación, entusiasmo y responsabilidad en la prestación eficiente de estos importantes servicios.

La filtración lenta es una excelente opción.

CAPITULO 2

OBJETIVO, ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION

2.1. Objetivo.

2.2. Alcance.

2.3. Antecedentes.

2.3.1. Problemática de higiene y saneamiento de abastecimientos someros en poblaciones rurales.

2.3.2. El agua, aspecto fundamental en la política de desarrollo nacional.

2.1. Objetivo

El objetivo del presente trabajo se resume en los siguientes puntos:

1. Se establece el planteamiento de las plantas convencionales de tratamiento de agua que se basan en procesos de filtración de alta y baja velocidad.

2. Evaluación en campo de la calidad del agua en zonas rurales que se abastecen de pozos intermedios.

3. Diseño de una planta de potabilización con filtración lenta y sin cloración para una comunidad rural.

2.2. Alcance

Se realiza en el laboratorio pruebas de remoción de substancias indeseables en el agua de pozo del sitio en estudio. Dichas pruebas se elaboran a distintas velocidades y diversas proporciones de grava y arena.

Se dimensionará una planta potabilizadora con los resultados experimentales que otorgue agua con propósitos sanitarios e higiénicos para una población a futuro de 500 habitantes que cumpla con los estándares internacionales de calidad del agua.

Se hacen recomendaciones de manejo desde el abastecimiento hasta su distribución al asentamiento humano.

2.3. Antecedentes

2.3.1. Problemática de higiene y saneamiento de abastecimientos someros en poblaciones rurales

¿Ha vivido usted la desagradable experiencia de abrir el grifo del fregadero de su cocina y tras acercarle un fósforo encendido ver que de él sale una horrible llamarada?

¿El agua con que se baña está demasiado sucia para beberse y esa suciedad después de asentada se puede amontonar?. ¿Sabe usted que con el agua de un río se puede, ante sus propios ojos, revelar una fotografía de un negativo?

Aunque estos son casos extremos (existen más), y es posible que no lo hallan alcanzado todavía, si reflejan alarmante situación a la que se enfrentan los suministros de agua en el mundo.

Cuando tan solo en México se vierten sobre ríos, arroyos, lagos y otros cuerpos de agua, alrededor de 120 m³/seg de aguas residuales sin tratamiento, nos damos cuenta de la compleja problemática que hay que analizar ya que el riesgo para la salud pública es grave.

Para comenzar se tiene que un 30% de la población total no cuenta con

abastecimiento de un sistema formal de agua potable y que un 51% no cuenta con alcantarillado. En la tabla N° 1 se muestra el número de personas que no disponen de los servicios.

POBLACIONES	SERVIDA	SIN SERVICIO*
	Agua Alcant.	Agua Alcant.

Grandes urbes	30.0	90%	73%	3.0	8.4
Otras urbes	31.3	69%	58%	9.7	13.1
Zonas rurales	26.3	49%	12%	13.4	23.1
T O T A L :	87.6	70%	49%	26.1	44.6

* Millones de habitantes.

Tabla N° 1

Hay 12.7 millones de habitantes en las zonas urbanas que carecen del servicio de agua potable (generalmente en zonas populares). Sin alcantarillado están 21.5 millones de personas; el mayor rezago en alcantarillado genera grandes problemas sanitarios, ya que el drenaje fluye sin control y a cielo abierto generalmente por las calles. Normalmente quienes sufren los efectos de esto también son las zonas rurales.

Las cifras de la tabla no revelan lo cualitativo de los servicios, ya que en

muchos casos es intermitente y no se cuenta con datos sobre la calidad del agua, que generalmente no se desinfecta.

En el medio rural no están totalmente caracterizados los casos en los que la falta de agua es aguda o su acceso a ella es penoso, y aquellos en que, aún sin una infraestructura formal, la población se abastece de manera aceptable.

A nivel nacional el caudal suministrado es de 170,000 litros por segundo que generan 115,000 litros de aguas negras. Para su tratamiento hay en el país 256 plantas que tratan 14,000 litros por segundo de aguas municipales; hay 150 plantas para tratar 12,000 litros por segundo de aguas industriales. Operan de las municipales solo el 35% y con poca eficiencia. Sólo el 15% de las aguas residuales reciben algún tratamiento.

En general, la infraestructura del abastecimiento de agua potable, la de distribución, la de alcantarillado y la de tratamiento de aguas negras, han recibido un escasísimo o nulo mantenimiento y conservación y requieren de considerables inversiones para su rehabilitación.

Por otra parte, mencionaremos los factores que intervienen en el deterioro de la calidad y cantidad del agua de los cuerpos de agua que sirven de abastecimiento, haciendo énfasis en la situación de los acuíferos o depósitos subterráneos. (*)

* El orden de aparición no denota que un factor sea más importante que otro.

La contaminación proviene de desechos sólidos, líquidos y gaseosos resultantes de actividades humanas. Los esfuerzos relativos al tratamiento y eliminación de efluentes líquidos son, sin duda, los que han resultado más penosos. Recordemos que es a través del agua que se ha propagado y se propaga la mayor cantidad de enfermedades graves. No hace mucho tiempo una tercera parte de la humanidad estaba constantemente enferma debido a agua impura, diez millones de personas morían anualmente, no por falta de agua, sino por culpa de ésta. Actualmente, en esta época de adelantos tecnológicos, la situación no ha variado mucho pues según un especialista suizo en purificación del agua, las enfermedades transmitidas por el agua causan la muerte a 30,000 personas diariamente.

1. Basura:

El que una familia anualmente deseché y 41 Kg de plástico o el que el californiano de término medio tire 1,100 Kg de basura al año nos indica lo importante que debe ser la correcta disposición de nuestros desechos. La acumulación de basura, sin importar el volumen o el tiempo, propicia la aparición de fauna nociva causante de múltiples enfermedades. El proteger un pozo de la intrusión de basura no es suficiente, debe mantenerse libre de su presencia, arriba, a los lados o enterrada, ya que la basura enterrada en los vertederos no solo ofende a la vista del vecindario, sino que puede convertirse en un problema sanitario. A medida que los residuos se descomponen, producen un gas incoloro, inodoro e inflamable llamado metano, que si no se controla, puede filtrarse por debajo de la tierra y destruir la vegetación, introducirse en edificios cercanos y

explotar si entra en ignición. Corren peligro, entonces los depósitos subterráneos si algunas sustancias químicas peligrosas se filtran por la tierra y contaminan el abastecimiento de agua para consumo humano.

2. Pesticidas, herbicidas y fertilizantes:

Han resultado ser una bendición para los agricultores de todo el mundo, pero han sido desastrosos para las aguas de la Tierra. El usar el pesticida DBCP ha causado cáncer y esterilidad en los humanos. Aunque ya no se usa, este veneno no ha dejado de filtrarse a través de las capas del suelo hasta llegar a las aguas subterráneas. El 35% de los pozos en el valle de San Joaquín, California tienen DBCP según la revista popular Newsweek. Hay pesticidas que afectan el sistema nervioso y aun de otros se sospecha que causan enfermedades. Se ha descubierto que algunos herbicidas hacen daño al cerebro, paralizando a la víctima. En muchas zonas agrícolas los fertilizantes han causado que la concentración de nitrato sobrepase la cantidad máxima permitida por la Ley de algunos países. Estas sustancias químicas también han llegado a los acuíferos.

3. Gasolinas y sustancias químicas:

Según muestran los informes, muchos de los millones de tanques subterráneos de gasolina de las estaciones de servicio esparcidas por carreteras y calles urbanas tienen algún derrame, y su contenido, altamente explosivo, pasa a la tierra y se filtra hasta los pozos de agua. Esto ha causado incendios en casas y establos debido a la explosión de los gases cuando alguien ha encendido un fósforo. Baste recordar la tragedia de Guadalajara en Abril de 1992. Otro

ejemplo de cuidado es el tramo del Río Lerma a la Laguna de Chapala que en su recorrido recolecta, detergentes, gasolinas, y toneladas de desperdicios industriales arrojados por más de 100 factorías entre los que podemos mencionar mercurio, cromo, plomo, arsénico, ácido sulfhídrico, bacterias y basuras con la consecuente contaminación de acuíferos que destruyen flora y fauna.

4. Lluvia ácida:

Este fenómeno se ha descubierto que también contribuye a la contaminación de pozos. Cuando el dióxido de azufre entra en contacto con el vapor de agua, reacciona con éste y produce ácido sulfúrico que puede acidificar la lluvia. Al caer la lluvia ácida, o peor aún, al derretirse la nieve ácida, el suelo se ve afectado. Científicos suecos repitieron un estudio efectuado en 1927 y llegaron a la conclusión de que a una profundidad de 70 cm, la acidez del suelo forestal había aumentado diez veces. Este cambio químico provoca que las plantas no puedan absorber minerales vitales como calcio y magnesio. Igualmente, la acidez en el agua ocasiona que se disuelva el aluminio que esta vinculado a la enfermedad de Alzheimer y otras dolencias de las personas de edad avanzada.

5. Detergentes, disolventes y bloqueadores:

Con la aparición de los detergentes, las plantas de tratamiento no fueron las únicas afectadas, también lo fueron plantas, animales y los depósitos subterráneos. Hay que recordar que los detergentes no son biodegradables y sí penetran en el suelo hasta profundidades considerables. Los disolventes,

blanqueadores y productos para la limpieza (de cualquier clase) aparte de llegar a estratos profundos pueden contaminar grandes cantidades de agua. Por ejemplo, sólo 4 litros del disolvente (*) pueden contaminar más de 75'000,000 de litros de agua subterránea a un grado que sobrepase el límite máximo de contaminación establecido por la mayoría de los reglamentos en la materia.

6. Residuos tóxicos y nucleares:

Durante décadas, la mayor parte de los residuos nucleares se enterraban en pozos o se echaban en depósitos de filtración dentro de las propias centrales nucleares pensando que era una buena solución. El tiempo demostró que ese tipo de material es letal hasta por 250,000 años y que no importa donde se coloquen, seguirán contaminando todo lo que se encuentre a su alrededor, ya que ningún contenedor, ni depósito geológico profundo, ni lugar seco, estable y deshabitado es lo suficientemente seguro para este tipo de desecho.

Con respecto a los desechos tóxicos producidos en un año reciente tan solo en Francia se estima que fueron 2'000,000 de toneladas. De estos desechos es difícil deshacerse, uno de los métodos es enterrarlos o incinerarlos en tierra. Ya se imaginarán los problemas que esto ocasiona a los acuíferos. Un ejemplo, el ántrax, (*) que tiene cautiva a la isla escocesa de Gruimard. No se puede desembarcar ahí pues el suelo (y por lo tanto el agua) esta contaminado.

* Tricloroetano (TCE)

* Antrax, enfermedad infecciosa de los animales que se transmite al hombre produciéndole nódulos ulcerosos en la piel o infecciones pulmonares.

7. Desechos fecales (humanos y animales):

La incorrecta disposición de estos desechos ocasiona graves problemas inmediatos en la salud humana. Tenemos los ejemplos de enfermedades como gastroenteritis y parasitosis en el poblado de Xalapa, ocasionados por la carencia de agua potable y el mal manejo de los residuos fecales.

En la Laguna de Tlachaloya el 80% de los niños padecen escabiasis (roña) y un 40% enfermedades como paratifoidea, salmonelosis, síndrome diarreico, hepatitis, amibiasis y en época de calor, el índice de mortalidad por enfermedades digestivas alcanza hasta un 10% de la población infantil de un día de nacidos a 4 años de edad.

8. Sobreexplotación de acuíferos:

Al igual que un grupo de niños pequeños con popotes toman a la vez del mismo refresco, así también la gente está agotando rápidamente el agua subterránea. Actualmente en el Valle de Toluca, los requerimientos de agua para abastecer las localidades y zonas industriales, dentro del mismo Valle se estima en el orden de 6.85 m³/s. En total la explotación de los recursos hidráulicos asciende al orden de 15.85 m³/s al sumarse los caudales enviados a la Ciudad de México. Esto nos da un volumen de 500 millones de metros cúbicos y la recarga, según la SARH, es de 350 millones de metros cúbicos, es decir, hay una sobreexplotación de 150 millones de metros cúbicos correspondientes a 5 m³/s.

Como se puede ver la insuficiente cobertura de los servicios de agua

potable, la mala calidad del preciado líquido, el desmesurado crecimiento poblacional y la falta de servicios de alcantarillado es motivo de preocupación y de numerosos padecimientos. Se debe actuar de inmediato y a continuación veremos algunas de las medidas tomadas en nuestro país para solucionar estos problemas.

2.3.2. El agua, aspecto fundamental en la política de desarrollo nacional

Cuando en 1948, la SRH asume la responsabilidad de administrar los servicios de agua potable y alcantarillado a través de Juntas Federales de Agua Potable, se logró cierto grado de descentralización y participación ciudadana; intentándose la entrega de las obras a los propios usuarios.

En 1976 la SRH y la Comisión Constructora de la SSA (encargada de realizar obras en el medio rural) pasan a la SAHOP, y la SARH se encarga de aquellas obras cuya magnitud y complejidad directa requerían su atención. Se formó entonces una división artificial entre lo que se llamó "Obras de Abastecimiento de Agua en Bloque" a cargo de la SARH y el resto de las obras que componen un sistema de agua potable y alcantarillado.

En 1980, la SAHOP entrega la operación de los sistemas a los gobiernos estatales y éstos, en ocasiones, a los municipios. El resultado de esto fue la descapitalización y la permanente carencia de recursos.

En 1982, la responsabilidad de la intervención federal pasa a la SEDUE, y la SARH sigue al cargo de obras que por su importancia requieren que el proyecto y ejecución sean ejecutadas por el Gobierno Federal.

En 1983, se establece por Ley (Art. 115 Constitucional), la responsabilidad de los municipios en la prestación de servicios.

Posteriormente, se crea la Comisión Nacional del Agua (CNA), en Enero de 1989 como órgano administrativo desconcentrado de la SARH. A dicha Comisión le corresponde atender prioridades de la política en materia hidráulica; agilizar la administración del recurso; coordinar las dependencias a nivel federal, estatal y municipal; ampliar esquemas de descentralización y fortalecer mecanismos de concertación de acuerdos con el Plan Nacional de Desarrollo (1989-1994).

Es alentador el haber constituido la Comisión Nacional del Agua ya que representa la oportunidad inmejorable de que los niveles superiores de Gobierno de nuestro país, tengan información de primera mano que les permita tomar decisiones políticas adecuadas.

También ha sido muy importante el hecho de unificar en un solo organismo todas las acciones para agua y saneamiento, porque con el tiempo traerá resultados positivos.

Se pone en marcha en todo el país, en Abril de 1991 el Programa Nacional de Agua Potable y Alcantarillado destacando las siguientes acciones:

1. Garantizar la calidad del agua que se comercializa, embotellada o en forma de hielo.
2. Cancelar las concesiones de aguas residuales que se destinan al riego de productos que se consumen crudos.
3. Abastecer agua desinfectada.
4. Ampliar la cobertura de los servicios de agua potable, alcantarillado y operar eficientemente las plantas de tratamiento de aguas residuales ya construídas.
5. Suministrar tratamiento mediante lagunas de oxidación y sistemas secundarios al 67% de las aguas residuales municipales del país.
6. Aplicar, a partir de Octubre de 1991, la nueva Ley Federal de Derechos en Materia de Aguas Residuales a todos los responsables de descargas que no cumplan con las normas técnicas ecológicas impuestas por la autoridad ambiental.
7. Reforzar y ampliar las redes nacionales de laboratorio y monitoreo en

calidad del agua que opera la Comisión.

Agua es vida y salud, pero también es desarrollo y crecimiento económico, claves para vencer los ancestrales retos del país. Por eso, el Presidente Carlos Salinas de Gortari afirmó que: cuidar el agua disponible es una verdadera prioridad social y económica para su gobierno. El mandatario ha recalcado: "no tenemos derecho a mal utilizarla, a lastimarla, a perjudicarla, porque no sólo es a la naturaleza a la que dañamos, sino a los propios mexicanos y no sólo a ésta, sino a las siguientes generaciones".

Y en el Seminario Internacional sobre Uso Eficiente del Agua aseguró que el problema del cuidado del agua "es un problema que a todos nos afecta y preocupa, pues la contaminación y agotamiento creciente de los mantos acuíferos a lo largo de nuestro planeta" es alarmante. Prueba de ello es el caso curioso e inquietante que se traen entre manos los asistentes y vigilantes del Presidente norteamericano George Bush, al establecerse una relación entre la enfermedad de Graves que se diagnosticó al mandatario y su esposa, con la presencia de yodo o litio en el agua que consumen en la Casa Blanca. De inmediato se dispuso analizar el agua potable que se consume en la Casa Blanca, Campo David y la residencia veraniega en Kennebunkport. De lo anterior se desprende que para los Estados Unidos el manejo del agua potable sigue siendo un asunto de enorme importancia y que éste puede llegar a alcanzar los más altos niveles de decisión en el gobierno. Si se confirma el vínculo de la enfermedad de Graves y el relativamente alto contenido de yodo y litio en el

agua potable de la Casa Blanca, podrían modificarse de nuevo las normas de calidad para el preciado líquido por todos los seres humanos, mandatarios o no.

El cuidado de este valioso recurso, no resulta ya de prioridad nacional, como lo muestra por ejemplo la firma del Tratado de Libre Comercio con Estados Unidos y Canadá donde la abismal diferencia entre el grado de desarrollo de los servicios de agua y alcantarillado entre estos dos países y el nuestro nos obligarán a prepararnos para competir, a desarrollar una infraestructura hidráulica bien cimentada y un servicio eficiente y vasto. Se transformará nuestro aparato productivo, el marco jurídico, las relaciones laborales y los sistemas de enseñanza; todo ello relacionado con los servicios de agua y alcantarillado. Pero más importante que eso será el cuidado del entorno natural. Recuérdese que las industrias norteamericanas y canadienses pueden sacar provecho de nuestro atraso y llegar a deteriorar aún más nuestro ambiente y dañar la salud del pueblo mexicano.

No, no es ya una prioridad nacional como lo muestran los diversos estudios realizados por la Organización Mundial de la Salud a través de su Oficina Regional y Sanitaria Panamericana: la Organización Panamericana de la Salud en diversos países de América Latina o bien la American Water Works Association (AWWA) que estableció un programa denominado WATERTECH para ayudar a los proyectos de suministros de agua en las naciones en desarrollo.

Por lo que respecta a México, que busca abatir los 26.1 y 44.6 millones de habitantes sin servicio de agua potable y alcantarillado respectivamente, y aumentar el servicio a tres millones de habitantes cada año, ante un crecimiento de la población de dos millones anuales, el realizar inversiones de 2.8 billones de pesos por año es absolutamente necesario, pues tan solo el 7% de las zonas rurales significan 200,000 millones de pesos anuales que cubrirán rezagos existentes en la materia. Y como ya se ha pregonado durante mucho tiempo la participación conjunta de la población (mano de obra y materiales) y el Gobierno (inversión y capacitación técnica), puede resultar en un gran avance de muchos programas por que la instalación y operación de plantas potabilizadoras estarían acordadas con sus fuentes locales de abastecimiento, recursos naturales y humanos y capacidad económica.

Es entonces que ubicándonos en la realidad, debemos dejar de buscar la "tecnología paquete", alejarnos un poco de las plantas de tratamiento convencionales que no están al alcance económico inmediato de las poblaciones rurales y aprovechar nuestros recursos y asimilar la experiencia de naciones más adelantadas en lo que se refiere a servicios rurales de agua potable y alcantarillado para comunidades pequeñas.

CAPITULO 3

FUENTES DE ABASTECIMIENTO

- 3.1. El ciclo hidrológico**
- 3.2. Fuentes de abastecimiento**
 - 3.2.1. El agua de lluvia**
 - 3.2.2. Agua superficial**
 - 3.2.3. El agua subterránea**
 - 3.2.4. Composición de las aguas subterráneas**
- 3.3. Calidad del agua**
- 3.4. Captación y distribución**
- 3.5. Gastos de diseño**
- 3.6. Distribución**
- 3.7. Población de proyecto**

3.1. El ciclo hidrológico.

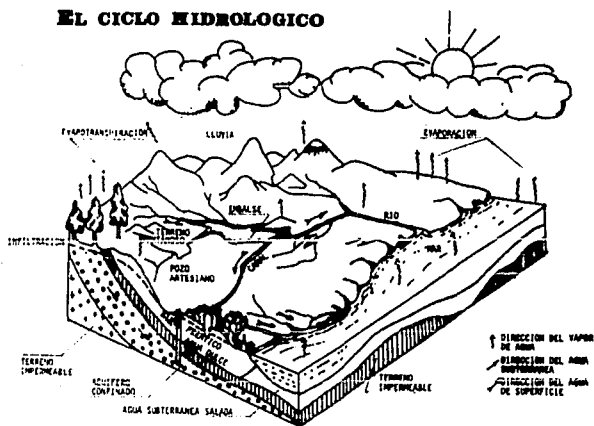
El concepto de ciclo hidrológico se refiere a la distribución que el agua tiene en la naturaleza.

El ciclo se inicia principalmente con la evaporación del agua de los océanos, el vapor de agua ya formado es transportado por las masas móviles de aire. Posteriormente bajo condiciones adecuadas, el vapor se condensa y forma nubes, las cuales pueden transformarse en precipitación. Cuando ocurre ésta y llega a la superficie terrestre, el agua empieza a infiltrarse y posteriormente a escurrir formando arroyuelos e incorporándose a las corrientes superficiales, las cuales se localizan en los puntos topográficos más bajos de la zona.

Alrededor de la tercera parte del agua que llega a la superficie terrestre se infiltra a través de los capilares del suelo y va llenando las fisuras de este medio poroso; la mayor porción de esta agua no llega hasta las aguas subterráneas, quedándose en la zona de humedad del suelo y de allí regresa a la atmósfera por evaporación o por transpiración de las plantas.

El agua subterránea inicia su camino hacia los puntos topográficos de menor altura donde se incorpora a corrientes superficiales o llega hasta el océano.

Es importante considerar el factor de la impermeabilidad en las grandes ciudades, en este caso la lluvia que desciende no puede penetrar las capas de asfalto y/o concreto por lo que escurre siguiendo la topografía del terreno; en muchos casos llegará a incorporarse a los sistemas de drenaje y alcantarillado y de allí a las corrientes superficiales.



3.2. Fuentes de abastecimiento.

3.2.1. El agua de lluvia.

Es aquella que se capta de la precipitación pluvial. Este tipo de agua tiene las siguientes características: su contenido de impurezas es pequeño (mayor al principio de la precipitación y menor al final), el agua es suave (baja en dureza), saturada de oxígeno pero insípida y algo corrosiva, contiene además algo de polvo y compuestos químicos provenientes de los gases y vapores (que se disuelven en la gota de lluvia) que atraviesa en su caída.

En aquellos sitios en donde es usada para consumo humano, su calidad depende de la limpieza del aire de la zona de recolección y de los sistemas de almacenamiento y distribución, debido a su suavidad y corrosividad no debe entrar en contacto con tuberías y recipientes de plomo.

3.2.2. Agua superficial.

Es aquella que es tomada de corrientes, estanques naturales, lagos y embalses.

Las corrientes de agua son formadas por escurrimientos producidos por precipitaciones directas, la cantidad del flujo de este tipo de fuentes varía de una temporada a otra y según la geología y el desarrollo de la cuenca. La cantidad

del agua captada por la corriente depende del área de la cuenca, geología y topografía.

También se considerará la calidad del agua de esta corriente que depende de la cantidad de agua subterránea que se incorpora a ella durante las épocas de estiaje (principalmente agua dura), los escurrimientos que atraviesan tierras de cultivo llevando limo, fertilizantes y en el caso de pastizales, estiércol y desechos orgánicos.

Finalmente, se debe considerar la contaminación por descargas de los sistemas de drenaje a las corrientes superficiales. Generalmente se puede afirmar que la calidad de agua de esta fuente es heterogénea y variable.

Los estanques naturales y los lagos dependen principalmente de las corrientes tributarias. Este tipo de agua tiene una calidad mucho más uniforme en comparación con las corrientes superficiales. Es importante señalar los procesos de autopurificación que ocurren en estos lugares, el grado de estos cambios dependen del volumen del cuerpo de agua en relación con su área de drenaje, además de su forma.

El largo almacenamiento permite la sedimentación de los sólidos en suspensión, la aclaración del color y la eliminación de bacterias.

En los lagos grandes de dilución y autopurificación aseguran la buena

calidad del agua, sin embargo en los lagos pequeños se tiene menor purificación, además se produce el crecimiento desmedido de algas y lirio acuático.

Los embalses son formados con diques a través de los valles cortados por corrientes. En estos cuerpos receptores el agua de mejor calidad se encontrará a una profundidad mediana. El agua de las partes superiores es propensa a desarrollar algas, el agua del fondo puede contener un alto contenido de dióxido de carbono, hierro, manganeso y ácido sulfhídrico.

3.2.3. El agua subterránea.

El agua subterránea tiene su origen en la infiltración del agua de lluvia y superficial hacia el suelo. La profundidad a la que se infiltra el agua depende de las características físicas del suelo y a la cantidad de precipitación. Durante el paso a través del suelo, el agua tiene contacto con sustancias orgánicas e inorgánicas; algunas de estas sustancias son altamente solubles al agua, otras como las que causan alcalinidad y dureza requieren que el agua contenga dióxido de carbono (obtenido del aire o materias orgánicas en descomposición).

Las aguas que contienen hierro y manganeso favorecen el desarrollo de las bacterias del género *Crenothrix* y algunos otros organismos.

Estas aguas pueden contener ácido sulfhídrico debido a la ausencia de oxígeno, a la descomposición de materias orgánicas o a la reducción de sulfatos

minerales.

Las aguas subterráneas son claras, frías, sin color y más duras que el agua superficial. En las formaciones calizas son muy duras, propensas a formar depósitos en las tuberías de agua y son relativamente no corrosivas. En formaciones graníticas las aguas subterráneas son suaves, con bajo contenido de minerales disueltos, con contenido relativamente alto de dióxido de carbono libre y son muy corrosivas. Estas aguas contienen un bajo contenido de bacterias, excepto en el caso de contaminación subterránea. Es importante señalar que entre los 3 y los 15 m de profundidad la temperatura del agua equivale a la media atmosférica. Por debajo de los 15 m la temperatura aumenta 1° C por cada 10 m de profundidad.

Manantiales. Un manantial es una zona de la superficie de un terreno en la que por la fuerza de gravedad o por diferencia de presiones, fluye a la superficie una cantidad de agua procedente de un acuífero.

Podemos decir que los manantiales son la salida de un embalse subterráneo o medio poroso que recibe una cierta recarga o infiltración. Su composición química es la del manto acuífero del cual se deriva la salida del agua. Es importante señalar que la calidad del agua de esta fuente depende de la formación geológica (estrato) por la que es conducida.

Los factores más importantes a considerar para la aportación de un

manantial son los parámetros geométricos, hidrológicos y las condiciones de recarga del acuífero. Hay dos de estos que se destacan: la porosidad (relación del volumen de sus huecos con su volumen total) y la permeabilidad (propiedad que posee una roca de dejarse atravesar por el agua).

Pozos someros. Son los que se forman en depósitos superficiales de material permeable encima de un estrato impermeable. Otra manera arbitraria de clasificar a estos pozos consiste en decir que son aquellos que tienen menos de 15 m de profundidad. La calidad de estas aguas dependerán del estrato en que se localicen.

Pozos profundos. Se dividen en poco profundos aquellos que son excavados a más de 15 m y menos de 30 m. Generalmente atraviesan el manto freático. Se requiere utilizar barrenos ya que se encuentra con frecuencia con estratos duros.

Las aguas de esta zona son limpias, sin color y mineralizadas (hierro y manganeso). Estas aguas contienen además dióxido de carbono, calcio, sulfatos y carbonatos. Y desde el punto de vista bacteriológico su calidad es adecuada.

3.2.4. Composición de las aguas subterráneas.

En el agua subterránea natural, la mayoría de las sustancias disueltas se encuentran en el estado iónico.

A continuación se mencionarán los iones fundamentales.

a) Aniones o no metales:

Por dirigirse en la descomposición eléctrica de las sales hacia el ánodo, al reaccionar con el agua dan ácidos:

Cloruro, Cl^-

Sulfato, SO_4

Bicarbonato, CO_3 , H^-

b) Cationes o metales:

Por ser los que, al descomponerse una sal por corriente eléctrica, e dirigen siempre hacia el electrodo negativo o cátodo, al reaccionar con el agua dan lugar a los álcalis o bases:

Sodio, Na^+

Calcio, Ca^{++}

Magnesio, Mg^{++}

Las agua subterráneas dulces contienen hasta 2,000 mg/L de sustancias disueltas. Si el valor oscila hasta 5,000 mg/L se trata de un agua salobre y hasta 40,000 en aguas saladas.

Características químicas de los iones:

Aniones y Substancias aniónicas

1° Ión cloruro, Cl

a) Características químicas:

Son sales muy solubles y estables en disolución. No se oxida ni reduce en aguas; está asociado con el Ión sodio, en especial en aguas muy salinas.

b) Concentraciones:

Entre 10 y 250 mg/L en aguas dulces, frecuentemente se encuentran contenidos mucho mayores hasta varios miles de mg/L.

c) Nocividad y toxicidad:

Más de 300 mg/L dan sabor salado al agua bebida pero no es perjudicial hasta algunos miles de mg/L. Los contenidos elevados comunican corrosividad al agua.

2° Ión Sulfato, SO₄

a) Características químicas:

Sales moderadamente solubles a muy solubles, excepto las de Estroncio (60 mg/L) y de Bario (2 mg/L). En agua pura el sulfato de calcio a 1500 mg/L, y puede llegar hasta 7,200 mg/L en agua salina.

b) Concentraciones:

Entre 2 y 150 mg/L en aguas dulces pudiendo llegar a 5,000 mg/L en aguas salinas si existe Ca y, hasta 2,000 mg/L asociado a Magnesio y Sodio en salmuclas. El agua de mar contiene 3,000 mg/L.

c) Nocividad y toxicidad:

Las aguas selenitosas (elevado contenido en sulfato) no quitan la sed y tienen sabor desagradable y amargo. Cuando contiene Magnesio o Sodio en cantidades grandes provocan propiedades laxantes.

3° Iones bicarbonato y carbonato, CO_3H^- y CO_3^{2-}

a) Características químicas:

Estos iones transmiten alcalinidad. No son oxidables ni reductibles en aguas naturales.

b) Concentraciones:

El ión bicarbonato varía entre 50 y 350 mg/L en aguas dulces pudiendo llegar a veces hasta 800 mg/L. El agua de mar tiene alrededor de 100 mg/L.

El ión carbonato (CO_3^{2-}) se encuentra en concentraciones mucho menores que el bicarbonato (CO_3H^-) y si el $\text{pH} < 8.3$, se le considera cero. En aguas alcalinas con $\text{pH} > 8.3$ puede haber cantidades importantes, hasta 50 mg/L en algunas aguas naturales. El agua de mar tiene menos de 1.0 mg/L.

c) Nocividad y toxicidad:

No presenta problemas de toxicidad. El equilibrio entre CO_2 , CO_3H^- , $\text{CO}_3^{=}$ y pH es determinante en la corrosividad o incrustabilidad.

4º Ión Nitrato, NO_3^-

a) Características químicas:

Sales muy solubles y difícilmente precipitables. Aunque tienen tendencias a ser estables, aún en medios reductores puede pasar a gas nitrógeno o ión amonio y excepcionalmente a nitritos. La mayoría de compuestos nitrogenados pueden pasar a NO_3^- en medio oxidante, aunque el ión amonio puede perderse en parte como gas nitrógeno.

b) Concentraciones:

Normalmente entre 0.1 y 10 mg/L, pero en aguas contaminadas puede llegar a 200 mg/L y en algún caso hasta 1000 mg/L. El agua de mar contiene menos de 1.0 mg/L.

c) Nocividad y toxicidad:

Las altas concentraciones pueden producir cianosis en los niños, además de ser corrosiva.

5° Sílice, SiO_2

a) Características químicas:

La sílice iónica contribuye a la alcalinidad del agua. El CO_2 juega un importante papel al evitar que el pH suba, limitando así a la solubilidad de la sílice.

b) Concentraciones:

La mayoría de las aguas naturales tienen entre 1.0 y 40 mg/L en Sílice pudiendo llegar hasta 100, en especial en aguas bicarbonatadas sódicas. En aguas muy básicas se puede llegar a 1000 mg/L.

c) Nocividad y toxicidad:

No es peligrosa.

Cationes y sustancias catiónicas

1° Ión Sodio, Na^+

a) Características químicas:

Solubilidad alta y por lo mismo de difícil precipitación. Las aguas con elevados contenidos en sodio suelen tener contenidos elevados de ión fluoruro.

b) Concentraciones:

Entre 1 y 150 mg/L en aguas dulces y en algunos casos hasta miles de mg/L. Las salmueras contienen hasta 100,000 mg/L, el agua de mar 10,000 mg/L.

c) Nocividad y toxicidad:

Este ión reduce la permeabilidad del suelo y es nocivo si las concentraciones de Calcio y Magnesio son bajas.

2° Ión Potasio, K^+

a) Características químicas:

El ión tiene una alta solubilidad. Es afectado fácilmente por el cambio de bases y es absorbido por las arcillas en formación, para formar parte de su estructura.

b) Concentraciones:

En aguas dulces de 0.1 a 10 mg/L. Las salmueras varían de 100 hasta 100,000 mg/L. El agua de mar contiene alrededor de 400 mg/L.

c) Nocividad y toxicidad:

No presenta problemas especiales a las concentraciones habituales.

3° Ión Calcio, Ca^{++}

a) Características químicas:

Sales moderadamente solubles a muy solubles. Se puede precipitar y disolver con facilidad al cambiar el pH o la presión parcial de dióxido de carbono.

b) Concentraciones:

Entre 10 y 250 mg/L en aguas dulces, en salmueras de cloruro de Calcio hasta 50,000 mg/L. El agua de mar contiene 400 mg/L.

c) Nocividad y toxicidad:

Aporta dureza al agua.

4° Ión Magnesio, Mg^{++}

a) Características químicas:

Propiedades de alta solubilidad y difícil de precipitar.

b) Concentraciones:

Entre 1.0 y 100 mg/L en aguas dulces, en salmueras miles de mg/L y en agua de mar 1,200 mg/L.

c) Nocividad y toxicidad:

Propiedades laxantes, contribuye a la dureza y al pH elevado.

5° Iones relacionados con el Hierro

a) Características químicas:

Ciertos microorganismos promueven medios reductores que favorecen la formación de ión ferroso (Fe^{+2}), mientras otros utilizan la energía del paso de ión

férrico (Fe^{+3}) en sus procesos vitales y dan lugar a precipitaciones gelatinosas; estos crecimientos bacterianos se favorecen en la obscuridad y en aguas con exceso de oxígeno disuelto y abundante dióxido de carbono.

b) Concentración:

El ión ferroso entre 0 y 10 mg/L, siendo de menos de 0.5 mg/L en aguas aireadas. Con pH entre 5 y 8 rara vez llega a 50 mg/L. En aguas ácidas hasta 100 mg/L de ión ferroso y ión férrico. En aguas alcalinas el contenido es mínimo.

c) Nocividad y toxicidad:

Forman depósitos fangosos de hidróxido férrico. Más de 5 mg/L pueden ser tóxicos para las plantas. Más de 0.5 mg/L son nocivos o molestos en general.

Principales gases disueltos:

1° Anhídrido carbónico o dióxido de carbono, CO_2

a) Características químicas:

Es un gas relativamente soluble y que al hidrolizarse produce ácido carbónico parcialmente disociado. El dióxido de carbono determina en gran manera el comportamiento químico de un agua frente a muchos minerales, tales como: calcita, dolomita y feldespatos.

b) Concentraciones:

Frecuentemente se sitúa entre 1.0 y 30 mg/L en aguas en contacto con la atmósfera. En acuíferos profundos o confinados en los que existe oxidación de la materia orgánica, aportes volcánicos y altas presiones, llegan a tener hasta 1,500 mg/L de gas disuelto.

c) Nocividad y toxicidad:

Las aguas con exceso de dióxido de carbono son agresivas, y las que tienen ausencia son incrustantes.

2º Oxígeno disuelto, O₂

a) Características químicas:

Produce un medio oxidante, permite la actividad de microorganismos aerobios y su ausencia produce un medio anaerobio. Se consume fácilmente al reaccionar con sustancias orgánicas.

b) Concentraciones:

La concentración de saturación es del orden de 10 mg/L. La mayoría de las aguas subterráneas tienen entre 0 y 5 mg/L y frecuentemente por debajo de 2 mg/L.

c) Nocividad y toxicidad:

Produce corrosividad y la ausencia produce malos olores.

Características químicas y fisicoquímicas:

1° Concentraciones de iones hidrógeno, pH

a) Definición y propiedades:

Es una expresión matemática que reporta mediante el ordenador $-\log$, las concentraciones del ión hidronio (H_3O^+) o ión hidrógeno (H^+) presentes en el agua. El pH crece al aumentar la temperatura (8% por cada grado centígrado), por lo que debe referirse a esta.

b) Valores:

Generalmente oscilan entre 6.5 y 8. Los valores extremos son entre 0 (extremadamente ácida) y 14 (extremadamente básica), pasando por el 7 (neutro). Excepcionalmente varía entre 3 y 11.

c) Efectos:

Aguas con $pH < 7$ son agresivas, con $pH > 9$ crea problemas en las plantas. El intervalo óptimo para consumo humano esta entre 6.5 y 8.

2° Alcalinidad:

a) Definición:

La alcalinidad es la capacidad de un agua para neutralizar ácidos.

b) Propiedades:

La alcalinidad mide el efecto combinado de los iones bicarbonatos (CO_3H^-), carbonato (CO_3^{2-}), hidróxido (OH^-), fosfato (PO_4^{3-}), fluoruro (F^-), etc.

3° Acidez:

a) Definición:

Es la capacidad de un agua para neutralizar bases.

b) Propiedades:

La acidez es producida por la oxidación de sulfuros. La oxidación de sulfatos precisa mucho oxígeno y solo puede dar acidez importante en las proximidades del nivel freático.

4° Dureza:

a) Definición:

La dureza mide la capacidad de un agua para consumir jabón. Esta es debida a los carbonatos y bicarbonatos de cal y magnesia, cloruros, sulfatos y nitratos.

Existen tres tipos de dureza: total, temporal y permanente.

La total es la cantidad de carbonato cálcico equivalente al contenido de sales de calcio, magnesio y en algunos casos hierro y aluminio.

La temporal es la que desaparece por ebullición, por lo que se precipitan los carbonatos solubles disminuyendo la dureza.

La permanente es la que queda después de la ebullición, y es debida a los sulfatos, cloruros y nitratos.

b) Propiedades:

Las aguas con menos de 50 mg/L de carbonato de calcio (CaCO_3) son llamadas blandas, hasta 100 son ligeramente duras, hasta 200 moderadamente duras y mayor a 200 muy duras.

c) Valores:

Generalmente entre 10 y 300 mg/L como carbonato de calcio (CaCO_3), excepcionalmente de 1000 a 3000 mg/L.

d) Efecto:

Las aguas blandas son agresivas y no sirven para beber.

NORMAS MEXICANAS DE CALIDAD DEL AGUA POTABLE

Parámetro	Conc. (mg/l)
Coliformes totales*	2
Coliformes fecales*	0
Color (UptCo)	20
pH (U)	6.9 a 8.5
Turbiedad (U)	10
Alcalinidad total**	400
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	1
Cadmio	0.005
Cianuro (como CN)	0.05
Cobre	1.5
Cromo hexavalente	0.05
Dureza de Ca**	300
Fenoles	0.001
Hierro	0.3
Fluoruros	1.5
Magnesio	125
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	5
Nitritos (como N)	0.05
Nitrógeno proteico	0.1
Plomo	0.05
Selenio	0.05
Sulfatos	250
Zinc	5
SAAM	0.5
OCMA	3
Extract. C-Cloroformo	0.3
Extract. C-Alcohol	1.5

* NMP/100 ml

** como CaCO₃

3.3. Calidad del agua.

Regularmente existen tres tipos de bacterias que se encuentran en el agua. Las bacterias "naturales", las bacterias de suelo y las de las aguas negras.

1. Bacterias naturales del agua.

Pertencen al género Pseudomonas, Serratia y Flavobacterium.

Las Pseudomonas producen un pigmento soluble en agua y dan un tono de fluorescencia verde. Los otros tipos de bacterias producen pigmentos insolubles en el agua de colores rojo, anaranjado, amarillo y violeta.

Este tipo de bacterias no son patógenas para el hombre, aunque dan un sabor desagradable al agua.

2. Bacterias del suelo.

Las especies más comunes son: el género Bacillus, seguido del subgénero Aerobacillus.

Las bacterias del género Bacillus, son aeróbicas, Gram-positivas y producen esporas aunque éstas no desprenden gas metano.

Las bacterias del subgénero Aerobacillus, son Gram-negativas, facultativas, con esporas y además producen gas durante la fermentación.

Un grupo importante de bacterias que se encuentra en las aguas subterráneas son las del género Crenothrix polyspora que son bacterias ferruginosas, las cuales oxidan algunas formas de hierro.

Las bacterias magnesianas oxidan los compuestos de manganeso a dióxido de manganeso.

Este tipo de bacterias no son patógenas.

3. Bacterias patógenas.

Son organismos indicadores de contaminación.

Bacilos del género Clostridium. Son Gram-positivos, forman esporas, son anaeróbicos y producen gas metano.

Cocos del género Streptococcus. Son Gram-positivos.

Escherichia, Aerobacter, Proteus. Gram-negativos no esporágenos, no son patógenos.

Salmonella y Shigella. Son especies patógenas.

Espirilos, virus y bacteriófagos. Son especies patógenas.

Cabe señalar que las bacterias Gram-positivas, gasógenas y anaeróbicas no son indicadores satisfactorios del grado de potabilidad.

Principales enfermedades hídricas:

a) Cólera:

Es provocado por el "vibrión colérico" o "comabacilo" (*Spirillum cholerae*)- Este vibrión entra con el agua por la boca y de ahí pasa al estómago y se le localiza en el intestino donde se multiplica rápidamente y en grandes cantidades. En las heces, el espirilo es numerosísimo, por lo que es necesario una correcta disposición de excretas.

b) Tifoidea:

Producida por el *Bacillus typhosus*, crea una ulceración de las paredes del intestino y en muchos casos la perforación del mismo acarrea la muerte.

Los síntomas son: dolores de cabeza, diarrea intensa, elevación de la temperatura, debilidad muscular entre otros.

El vehículo transmisor son las heces y la orina que son transmitidas por el drenaje a corrientes superficiales. El germen vive hasta 30 días en el agua.

c) Disentería:

Esta infección intestinal cuyo principal síntoma son las descargas diarreicas

frecuentes y abundantes.

Puede ser producida por protozoos o bacterias. En realidad lo que hace la disentería es aumentar la cantidad y vitalidad de Bacillus coli que se encuentra en el hombre de donde se origina la enfermedad.

d) Anquilostomiasis:

Es producida por gusanos intestinales que se reproducen por medio de heces y penetran por la piel.

ENFERMEDADES RELACIONADAS CON LAS DEFICIENCIAS EN LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE Y SANIDAD

- **Grupo 1:** Enfermedades transmitidas por el agua. (Asociadas con el agua)

El agua actúa sólo como un vehículo pasivo de los agentes infecciosos.

Todas estas enfermedades dependen también de un deficiente sistema sanitario.

- **Enfermedades:** Cólera, Tifoidea, Disentería bacilar, Hepatitis infecciosa, Leptospirosis, Gardiasis, Gastroenteritis.

- **Grupo 2:** Enfermedades debido a la falta de agua. La carencia y adecuada cantidad de agua y la falta de higiene personal crea condiciones favorables para el desarrollo de enfermedades. Las infecciones intestinales se relacionan con la inadecuada disposición de excretas.

- **Enfermedades:** Roña, Úlcera dérmica, Sarna, Lepra, Pulgas y Tifo, Tracoma, Conjuntivitis, Disentería bacilar, Disentería amibal, Salmonelosis, Diarrea viral, Fiebre paratifoidea, Ascariasis, Parásitos intestinales.

- **Grupo 3:** Enfermedades causadas por la propagación de agentes infecciosas por contacto o ingestión del agua. La parte esencial del ciclo de vida del agente infeccioso tiene lugar al adherirse a algún animal acuático. Los agentes transmisores tienen su origen en el mal manejo de las aguas residuales.

- **Enfermedades:** Esquistosomiasis (urinaria y rectal), Bilaziasis, Filariasis, Oncocercosis, Taenias.

• **Grupo 4:** Enfermedades transmitidas por insectos que se desarrollan en las aguas estancadas. (Vectores en el habitat acuoso). Enfermedades que son difundidas por mosquitos e insectos que se encuentran en lugares cercanos a ríos, lagos, etc. Estas especies son sumamente agresivas y activas en la transmisión de enfermedades.

• **Enfermedades:** Fiebre amarilla (mosquito), Dengue (mosquito), Fiebre hemorrágica (mosquito), Encefalitis (mosquito), Filariasis (mosquito), Paludismo (mosquito), Oncocercosis (mosca simuliur).

• **Grupo 5:** Enfermedades causadas por agentes infecciosos. En la mayoría de los casos por no cocer adecuadamente los alimentos. (Enfermedades y disposición de excretas).

• **Enfermedades:** Clonorchiasis (pescado), Difilobotriasis (pescado), Faciolopsiasis (planta cruda), Paragonimiasis (jaiba).

**ENFERMEDADES ATRIBUIBLES AL AGUA POTABLE Y RESIDUAL EN
COMUNIDADES RURALES DEL PAIS.**

ORDEN	ENFERMEDAD	Nº DE CASOS	TASA	(%)
1	Infec. Resp. Agudas.	240	43.8	33.10
2	Otras enfermedades.	90	16.4	13.80
3	Enfermedades relacionadas con el agua.	393	71.53	53.10

* Tasa por 1,000 habitantes.

Conclusión:

Los asentamientos humanos en áreas rurales que se abastecen de agua para usos potables e higiénicos, a partir de ríos y arroyos, los cuales no cuentan con plantas potabilizadoras por incapacidad, tienen un elevado promedio de morbilidad y mortalidad, estos son problemas de origen gastrointestinal y grave relación con la contaminación del agua por fuentes río arriba. El utilizar de fuentes de agua superficial no protegidas son una grave amenaza de salud pública.

3.4. Captación y distribución.

Captación de aguas de lluvia:

La captación de esta fuente se realiza mediante superficies receptoras (techos de casas y superficies impermeables) y de allí se transmite mediante canaletas a tanques receptores.

Sin embargo en estos sistemas, el volumen llovido inicialmente no es aprovechado ya que es el que limpia la superficie de captación del material orgánico e inorgánico.

Desgraciadamente la fuente de abastecimiento en este caso no es constante ya que el agua solo se obtiene en épocas de lluvia. En caso de una sequía prolongada existirán problemas de abastecimiento y aunque no se tendrán períodos de sequía largos, sería difícil que fuera suficiente en calidad y cantidad para todo el año.

Captación de aguas superficiales:

Lo más importante de las obras de captación es asegurar bajo cualquier condición, la cantidad y calidad requerida.

Las obras de captación de las corrientes superficiales puede ser:

1. Captación directa:

Mediante sistemas de gravedad o bombeo. El sistema está compuesto por un tubo dentro de una caja de toma. Otra alternativa es utilizar tubería de succión de una bomba instalada en la superficie.

2. Captación mediante una caja lateral:

Se utiliza por medio de un vertedor colocado paralelamente a la dirección de la corriente.

3. Captación mediante una caja central:

El sistema funciona al colocar una caja en sentido perpendicular a la dirección de la corriente. La caja es colocada bajo el vertedor de rebose de un dique.

4. Captación mediante canales de derivación:

a) Captación en lagos:

Son realizados mediante pozos y galerías filtrantes de donde se bombea el agua. También mediante canales de conducción considerando zonas no contaminadas.

b) Captaciones indirectas: (Pozos y galerías filtrantes)

Generalmente colocadas a la orilla de una corriente superficial, de allí se obtiene el agua al filtrarse entre los materiales granulares.

Captación de las aguas subterráneas:

Manantiales. Las condiciones más importantes que debe reunir una obra de captación son:

- 1° Por ningún motivo se debe alterar la cantidad y calidad del agua.
- 2° Evitar excavaciones, movimientos de tierra y rellenos que puedan dañar el flujo natural de la fuente.
- 3° Se deben conservar las características físicas del agua captada.
- 4° Regular el caudal a conducir, es decir, que el funcionamiento hidráulico sea correcto.
- 5° Protección contra escurrimientos superficiales.
- 6° Evitar cargas hidrostáticas sobre el punto de afloramiento.

Pozos someros. Captan el agua freática en los perfiles superiores, casi al nivel del suelo.

- 1° El diámetro debe ser alrededor de 1.50 m

2° Los pozos deben construirse durante las estaciones de sequía (el nivel freático es bajo).

3° Debe tener protección para evitar contaminación de aguas superficiales y objetos extraños.

4° Impermeabilizar las paredes internas hasta 3 m. de profundidad.

Pozos profundos. Las recomendaciones son las mismas que en el caso anterior, solo que se deben considerar los costos de construcción y mantenimiento mayores.

3.5. Gastos de diseño.

Dotación: Es la cantidad de agua destinada a cada habitante y que comprende todos los consumos de los servicios domiciliarios que se hacen en un día medio anual.

Se expresa en las siguientes unidades: Litros/habitante x día.

Gasto medio diario anual, Q_M

$$Q = \frac{D \times P}{86400}$$

Unidades = L/s

D = en Dotación en L/hab x día

P = número de habitantes

Introduciendo las condiciones climáticas se consideran CVD y CVH, que son el coeficiente de variación diaria y coeficiente de variación horario respectivamente.

Gasto máximo diario, Q_{md}

$$Q_{md} = Q \times CVD$$

Q_{md} en L/s

Q en L/s

CVD coeficiente de variación diaria de 1.2 a 1.5

Gasto máximo horario, Qmh

$$Q_{mh} = Q \times CVD \times CVH$$

Qmh en L/s

CVH coeficiente de variación horaria de 1.5 a 2.0

3.6. Distribución.

Un sistema de distribución es una estructura capaz de proporcionar agua en gasto, calidad y cantidad adecuada y suficientes, con la presión necesaria para llegar a los puntos indicados.

Los sistemas de distribución se clasifican en: sistemas de malla, ramificados y combinados.

La configuración dada al sistema estará en función de la topografía del terreno, grado y tipo de desarrollo del área así como las trayectorias dadas por las calles; además de las obras de tratamiento y regularización.

Sistema ramificado. Se basa en una línea de alimentación (tronal) que es la principal fuente y de allí se derivan los ramales.

Presenta las siguientes desventajas:

- 1° En los extremos finales de las ramas prolongadas se pueden presentar crecimientos bacterianos y sedimentación.
- 2° En caso de realizarse reparaciones en una línea individual en algún punto, quedarán sin servicio las conexiones que se encuentran más abajo del punto.

3° La presión en los puntos terminales puede ser muy baja e insuficiente.

Sistema en Malla: En éste todas las tuberías están interconectadas y no hay terminales.

Ventajas: el agua fluye por todos los puntos desde varias direcciones.

Desventaja: el diseño es más complicado en el caso del sistema ramificado.

Sistema combinado: Consiste en una combinación de los dos anteriores. Este sistema tiene la ventaja de permitir el uso de alimentadores en circuito que suministran agua a una área desde más de una dirección.

3.7. Población de proyecto.

Modelo aritmético. La principal característica radica en los incrementos de población constante e intervalos de tiempos iguales, es decir, la relación del incremento de habitantes y el período de tiempo es una constante.

Las ecuaciones son las siguientes:

$$K_a = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1}$$

Donde:

P_2 = Población en el tiempo 2 (final)

P_1 = Población en el tiempo 1 (inicial)

t_2 = Tiempo 2 (final)

t_1 = Tiempo 1 (inicial)

K_a = Incremento de población en la unidad de tiempo.

Para un momento "t" cualquiera, tenemos:

$$P = P_1 + K_a (t - t_1)$$

P = Población de proyecto

P_1 = Población inicial en el tiempo 1

Modelo geométrico: Este modelo se caracteriza por tener una velocidad de crecimiento directamente proporcional al valor de la población en cada instante de tiempo.

Las ecuaciones están dadas por:

$$K_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{t_2 - t_1}$$

Donde:

P_2 = Población 2 (final)

P_1 = Población 1 (inicial)

t_2 = tiempo 2 (final)

t_1 = tiempo 1 (inicial)

K_g = Velocidad de crecimiento

Para un momento cualquiera "t":

$$\ln P = \ln P_2 + K_g (t - t_2) = y$$

$$P = e^y$$

Población en Ejido Francisco Villa, Tamaulipas.

1970	188 habitantes
1980	249 habitantes
1990	325 habitantes

Solución mediante el método aritmético:

$$K_{80-90} = \frac{325 - 219}{1990 - 1980}$$

$$\begin{aligned} P_{2010} &= P_{1990} + 7.6 (2010 - 1990) \\ &= 325 + 7.6 (20) \\ &= 477 \text{ habitantes} \end{aligned}$$

Solución mediante el método geométrico:

$$\ln P_{2010} = \ln P_{1990} + K_g (2010 - 1990)$$

$$\ln P_{2010} = \ln 325 + 0.026637 (20) = 6.31656975$$

$$P_{2010} = e^{6.31656975} = 554 \text{ habitantes}$$

CAPITULO 4

LOS PROCESOS DE POTABILIZACION

- 4.1. Sedimentación**

- 4.2. Procesos Físicos**
 - 4.2.1. Floculación**
 - 4.2.2. Flotación**
 - 4.2.3. Adsorción**
 - 4.2.4. Filtración**

- 4.3. Procesos Químicos**
 - 4.3.1. Precipitación química**
 - 4.3.2. Estabilización química**
 - 4.3.3. Intercambio iónico**
 - 4.3.4. Procesos de membrana**
 - 4.3.5. Coagulación**
 - 4.3.6. Oxidación química**

- 4.4. Remoción de Hierro y Manganeseo**

- 4.5. Desinfección**

4.1. Sedimentación

La teoría de la sedimentación está basada en los principios de la gravedad, y dado que todas las partículas más pesadas que el agua tienden a asentarse, moviéndose hacia abajo a una velocidad que está en función de el tamaño de la partícula, peso y forma de la misma, además de resistencia friccional y viscosidad del agua.

La teoría desarrollada se basa en la Ley de Stokes, en la cual se supone que las partículas son esféricas.

LEY DE STOKES:

$$V = \frac{2gr^2(f' - f)}{9n}$$

Donde:

V = Velocidad de asentamiento, en centímetros por segundo.

g = Aceleración debida a la gravedad, en centímetros por segundo cuadrado.

r = Radio de la partícula (suponiendo que sea esférica) en centímetros.

f' = Densidad de la partícula, en gramos por centímetro cúbico.

f = Densidad del líquido, en gramos por centímetro cúbico.

n = Viscosidad absoluta, en dina segundos por centímetro cuadrado.

En general podemos decir que la separación gravitacional por sedimentación es una técnica efectiva para eliminar los sólidos suspendidos inestables e inestabilizados de las aguas.

Las partículas se sedimentan de una suspensión en formas distintas, según la concentración de la suspensión y las propiedades floculentas de las partículas.

Tipos de Sedimentación:

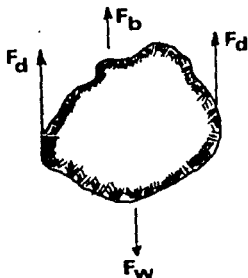
Descritos en 1958 por Fitch en función de la concentración de la suspensión y las propiedades floculentas de las partículas.

Clarificación Clase 1

Es la sedimentación de una suspensión diluida de partículas que tienen poca o nula tendencia a flocular.

La decantación de una partícula discreta no floculante de una suspensión diluida puede ser interpretada por las ecuaciones de la mecánica clásica. La sedimentación de la partícula no dependerá de la presencia de otras partículas, pero sí de las características hidrodinámicas del fluido y de la partícula.

Decantación por gravedad de una partícula:



F_w = Fuerza de Gravedad

F_b = Empuje del Fluido

F_d = Fuerza Friccional

La aceleración de la partícula será:

$$m \frac{dV_s}{dt} = F_w - F_b - F_d \quad \dots \dots 1$$

V_s = Velocidad de decantación lineal

m = Masa de la partícula

t = Tiempo

La fuerza de gravedad estará dada por:

$$F_w = P_s V_p g \quad \dots \dots 2$$

P_s = Densidad del fluido

V_p = Volumen de la partícula

g = Aceleración de la gravedad

La fuerza friccional depende de la aspereza de la superficie, tamaño, forma física, velocidad de la partícula, viscosidad y densidad del fluido.

$$F_d = \frac{C_d A_p P_f V_s^2}{2} \dots\dots\dots 3$$

C_d = Coeficiente de arrastra de Newton (adimensional)

A_p = Area de la partícula

C_d = Depende del número de Reynolds

Si sustituimos los valores anteriores en la ecuación principal:

$$m \frac{dV_s}{dt} = g (P_s - P_t) V_p - \frac{C_d A_p P_f V_s^2}{2} \dots\dots\dots 4$$

Después de un período transitorio inicial, de la aceleración es cero.

$$\frac{dV_s}{dt} = 0$$

Por otra parte la velocidad terminal es:

$$V_t = \left| \frac{2g(P_s - P_t)}{C_d P_f} \frac{V_p}{A_p} \right|^{1/2} \dots\dots\dots 5$$

Para partículas esféricas:

$$V_t = \left| \frac{4g}{3Cd} \frac{P_s - P_l}{P_l} d_p \right|^{1/2} \quad \dots \quad 6$$

V_t = Es la velocidad de decantación terminal

Si consideramos el flujo laminar; $Cd = \frac{24}{Re}$

$$V_t = \frac{g}{18\mu} |P_s - P_l| d_p^2$$

($Re < 1,000$)

Que es la velocidad característica de la Ley de Stokes:

Para Flujo turbulento (1,000 a 25,000), Cd es casi constante:

$$V_t = 1.82 \left| \frac{P_s - P_l}{P_l} d_p g \right|^{1/2}$$

Para régimen transitorio ($Re = 1$ a $1,000$)

$$Cd = 18.5 / Re^{0.6}$$

$$V_t = \left| \frac{2.32}{\mu^{0.6}} |P_s - P_l| d_p^{1.6} P_l^{-0.4} \right|^{0.714}$$

Que es la velocidad terminal

Clarificación Clase 2

Es la decantación de una suspensión diluida de partículas floculentas. En este caso la suspensión procede de aguas domésticas, industriales y residuales.

La decantación en esta ocasión dependerá de la profundidad del tanque, así como de las propiedades físicas del fluido y partículas. El crecimiento de las partículas individuales aumenta las velocidades de eliminación precisamente cuando se elimina rápidamente el fango depositado en el fondo del tanque.

Decantación Zonal

Esta ocurre cuando las partículas se agregan formando una masa que decanta como un estrato con una interfase distintiva entre el fango decantado y el efluente clarificado.

La decantación zonal ocurre en suspensiones más concentradas tales como lodo activado y suspensiones coaguladas o floculadas.

Compresión

La zona de compresión sucede cuando las partículas que se decantan y acumulan en el fondo del tanque de sedimentación. El asentamiento de las partículas es soportado por la masa ya compactada.

Diseño de tanques sedimentadores

La principal función del proceso de sedimentación consistirá en la eliminación de materia en suspensión decantable.

Otra función importante consiste en la captación y separación del lodo, del líquido deseado.

Algunos otros aspectos importantes a considerar son los siguientes:

En caso de que se incorporen sólidos de baja densidad relativa a la del agua, el tanque deberá tener un accesorio para recoger espuma y aceite.

En caso de tener una gran cantidad de materia orgánica precipitada, se deberá de retirar lo antes posible para evitar la formación de burbujas gaseosas que hacen flotar los sólidos (septicidad).

Configuración de Clarificadores

Los sedimentadores pueden variar desde una excavación en el terreno, hasta una estructura muy elaborada de concreto. Pueden tener formas rectangulares, cuadrados o circulares.

Las profundidades de los tanques varían desde los 2.13 y 4.56 m y siendo las profundidades promedio entre 2.43 y 3.65 m. Los tanques circulares varían su diámetro entre 10.64 y 60.8, siendo el más común 30.4 m, en los tanques rectangulares, el largo llega a alcanzar hasta 91.2 m, siendo común 30.4 m; la anchura depende del equipo de eliminación de fangos (aunque las proporciones utilizadas son de 3:1 y 5:1).

Las pendientes utilizadas son del 8% en los circulares y 1% en los rectangulares.

El tiempo de retención hidráulica variará desde una hora hasta más de una día, dependiendo de las características de la corriente, y de la eficiencia de separación del sólido deseado.

4.2. Procesos Físicos

4.2.1. Floculación

Es la aglomeración de partículas coloidales desestabilizadas, sus tamaños varían desde valores menores de 0.1 mm de diámetro (llamados microflóculos) hasta 3 mm de diámetro (llamados flóculos visibles). Podemos decir que la floculación se refiere a la desestabilización por la adsorción de polímeros orgánicos y formación posterior de puentes partícula-polímero-partícula. La desestabilización es un fenómeno por el cual los coloides se unen mediante colisiones, formando así las partículas

Existen diferentes formas de facilitar la desestabilización de las partículas.

1. Contactos por movimiento térmico, llamado movimiento browniano o difusión browniana.
2. Contactos que resultan del movimiento de la masa principal del fluido (transporte inducido por agitación).
3. Contactos que resultan de la sedimentación de partículas.

4.2.2. Flotación

El fenómeno de flotación se origina cuando se presentan partículas que son más ligeras que el agua, o cuando se les hace flotar cuando se les agrega un aditivo.

Flotación con aire.

El aire se puede introducir a los tanques mediante difusión, dispersión mecánica o por desprendimiento de burbujas de aire del mismo fluido. Las burbujas dispersadas miden regularmente 1 mm, y las burbujas desprendidas de la solución tienen un diámetro aproximado de 0.10 mm.

Para impedir flotabilidad mediante burbujas de aire se pueden realizar de la siguiente forma:

1. Al ser atrapado el aire físicamente en los agregados floculentos o floculados de la partícula.
2. Al ser atraído hacia la partícula por las fuerzas interfaciales y adherirse.

4.2.3. Adsorción

Es un proceso en el cual se extrae materia de una fase y se concentra en la superficie de otra fase (líquido-líquido, gas-líquido, gas-sólido o líquido-sólido).

Las reacciones superficiales son resultado (al menos parcialmente) de las fuerzas activas que existen dentro de los límites de la fase, o contornos superficiales. Generalmente la adsorción se utiliza para eliminar contaminantes orgánicos y trihalometanos.

Causas y Tipos de adsorción:

La adsorción de una solución a un sólido, ocurre debido a las propiedades características de un sistema disolvente-soluto-sólido.

La Adsorción por Intercambio.

Es un proceso mediante el cual los iones de una sustancia se concentran en la superficie, como resultado de la atracción electrostática en los lugares cargados de la superficie.

La Adsorción Física.

Se desarrolla, cuando la molécula que es adsorbida no se encuentra fija en un lugar específico de la superficie, sino más bien está libre de trasladarse dentro de la interfase.

La Adsorción Activa.

Se origina cuando el adsorbato sufre una interacción química con el adsorbente.

4.2.4. Filtración

Proceso en el que el agua es separada de las materias en suspensión, haciéndola pasar a través de una sustancia porosa. La separación de las materias sólidas ocurre al pasar el agua entre los poros de la capa filtrante y adherirse las partículas sólidas a los granos de arena o a la trama de la tela interceptora (mediante procesos físico-químicos).

Comúnmente la filtración se utiliza para eliminar sólidos presentes en aguas superficiales, precipitados del ablandamiento de agua, y precipitados del hierro y manganeso presentes en los suministros de aguas subterráneas.

Según el material del que estén constituidos, los filtros pueden ser granulares profundos (arena, doble-medio y multimedio) y de precapa (tierra de diatomea, perlita, carbón activado en polvo).

La filtración por doble-medio utiliza una capa de carbón activado sobre arena. La filtración por medios múltiples puede consistir en carbón, activado arena de sílice y arena de granate. Los filtros de tierra de diatomea son utilizados en la filtración de agua para piscinas y en aguas industriales. Los filtros de precapa de carbón activado en polvo eliminan mediante adsorción sólidos en suspensión, gustos y olores, la filtración mediante carbón activado granular (por adsorción) elimina orgánicos refractarios.

Los filtros granulares profundos cuentan con un medio filtrante (de 45.7 a 76 cm) soportado sobre un sistema de desagüe interior; los filtros de prerrecubrimiento tienen un medio poroso (que sirve de soporte para una capa fina de medio filtrante) dentro de la envoltura del filtro unido a un colector general de recogida.

Tipos de Filtración:

Por otra parte el proceso de filtración puede llevarse a cabo de una relación gasto a área o velocidad superficial lenta (0.1-0.3 m/hora = 2-7 m³/m²/día) o rápida (5-15 m/hora = 120-360 m³/m²/día).

Filtración Lenta.

Este tipo de filtración combina diferentes procesos como son sedimentación y adsorción; además de llevar a cabo acciones bioquímicas y microbiológicas, para remover impurezas; lo cual se lleva a cabo en el filtrado donde los sólidos son retenidos sedimentándose en la arena del filtro.

La atracción electrostática es muy efectiva pero ocurre solamente en caso de que las partículas cuenten con cargas eléctricas opuestas. En el caso específico de la arena de cuarzo, ésta no puede absorber elementos con cargas negativas como serían bacterias, materia coloidal de origen orgánico, aniones de nitrato, fosfato y compuestos químicos similares; pero si puede adsorber partículas con carga positiva como iones de hierro, manganeso y carbonatos.

También el trabajo de las bacterias que se encuentran adheridas a la arena es importante ya que son las encargadas de los procesos bioquímicos oxidando el hierro y el manganeso, además de consumir materia orgánica que se encuentra en el agua. De esta manera el agua que sale del proceso de filtración logra alcanzar alrededor de un 98 o 99% de eficiencia en la remoción de sólidos en el influente en relación con los sólidos en el efluente del filtro.

Algunas de las ventajas de este tipo de filtración son: requiere poco mantenimiento para conservar en buen estado el filtro; y el tamaño físico del material requerido para el filtro puede oscilar entre 0.35 mm y 2.5 mm dependiendo de las características físicas y químicas de la fuente de abastecimiento, por lo que probablemente la arena y grava puedan conseguirse a muy corta distancia.

Filtración Rápida.

Este proceso diverge del anterior principalmente en la velocidad de filtrado y en el tamaño del grano recomendado (0.4 a 1.2 mm).

Es utilizada principalmente para remoción de los iones de hierro y manganeso en las aguas subterráneas; además de eliminar turbiedad y materia orgánica de las aguas superficiales. Sin embargo, aunque los diferentes procesos que se desarrollan en esta filtración son los mismos que en la filtración lenta (filtración, sedimentación, adsorción y procesos bioquímicos y bacteriológicos); la elevada velocidad provoca que la purificación no tenga una eficiencia muy

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

alta. La parte de la limpieza que mejor se desarrolla es la correspondiente a la adsorción, pero la eliminación de organismos patógenos es mínima ya que el tiempo de retención es muy bajo, por lo que los procesos bacteriológicos no funcionan adecuadamente. Por lo que la filtración rápida se recomienda principalmente como un pretratamiento a la filtración lenta; en caso de no ser posible, lo más acertado es clorar el agua del efluente.

4.3. Procesos Químicos

4.3.1. Precipitación química

Este proceso consiste en separar las sustancias disueltas en una solución agregando productos químicos solubles, los cuales liberan iones, reaccionando con los iones existentes en el agua y formando precipitados.

La dosificación, mezcla y floculación estarán en función de las características químicas del agua.

De esta manera la cal ayuda a flocular el hierro y la dureza de carbonatos, el oxígeno disuelto auxilia a precipitar el hierro y el manganeso, y el fosfato tricálcico precipita iones de fluoruro.

Los precipitantes se seleccionarán entre:

- a) **Compuestos químicos encontrados en aguas naturales (carbonatos e hidróxidos).**
- b) **Cuerpos químicos relativamente insolubles (hierro y aluminio trivalente).**
- c) **Materias químicas que no produzcan residuos tóxicos.**

Es importante señalar que si aumentan los valores del pH se tendrá una disminución de la solubilidad de algunos tipos de sales y viceversa.

4.3.2. Estabilización química

El proceso consiste en el ajuste del pH, calcio (Ca^{++}), y la alcalinidad del agua a su equilibrio de saturación de carbonato de Calcio (CaCO_3). Las reacciones químicas precipitan los carbonatos y otras sales mediante el proceso cal-carbonato de ablandamiento de aguas; la remoción máxima de dureza de los carbonatos se alcanza cuando el pH de la solución es suficientemente alto para disminuir la solubilidad del carbonato de calcio (CaCO_3) y el hidróxido de magnesio ($\text{Mg}(\text{OH})_2$); y cuando existe una precipitación simultánea del ión calcio (Ca^{++}) y los carbonatos, con igual eficiencia.

4.3.3. Intercambio iónico

Es un proceso de sorción, en el cual los iones son mantenidos por fuerzas electrostáticas en grupos funcionales cargados, situados sobre la superficie de un sólido. Dicho de otra manera es un intercambio reversible de iones entre un medio sólido de intercambio y una solución. El intercambio iónico es utilizado para eliminar dureza (producida por los iones de calcio (Ca^{++}) y manganeso (Mg^{++}), de los suministros de aguas subterráneas y en el tratamiento de aguas residuales, en este último caso para recuperar desperdicios valiosos o subproductos (oro, plata, uranio).

Materiales usados en el proceso de intercambio iónico sólidos naturales: suelos, Humus, celulosa, lana, proteínas, carbón activado, carbón, lignina, óxidos metálicos. Células Vivas , algas y bacterias.

En la actualidad se utilizan principalmente las resinas sintéticas, que consisten en una red de radicales de hidrocarburos a los cuales están unidos grupos funcionales iónicos solubles. Las moléculas de hidrocarburos se encuentran unidas transversalmente formando una matriz tridimensional que imparte una insolubilidad y resistencia física global a la resina. El grado de reticulación determina la estructura porosa interna de la resina, y ésta no debe ser tan grande que impida el movimiento libre de los iones intercambiables.

4.3.4. Proceso de Membrana

Una membrana es una fase que actúa como una barrera al flujo de especies moleculares o iónicas entre las fases que separa. La fase generalmente es heterogénea y puede ser un sólido seco, un gel empapado de disolvente y un líquido inmovilizado. La principal característica de la membrana es que debe transportar algunas moléculas más rápidamente que otras, es decir, debe tener elevada permeabilidad para algunas especies y baja permeabilidad para otras.

Los tres procesos de membrana que se utilizan más comúnmente son la electrodiálisis, la ósmosis inversa y la ultrafiltración.

Osmosis Inversa:

Es el transporte de un disolvente desde una disolución diluida a una disolución concentrada a través de una membrana semipermeable ideal, que impide el paso del soluto, pero deja pasar el disolvente.

La fuerza impulsora en este proceso se llama presión osmótica, y en ella se alcanza el equilibrio y la cantidad de disolvente que pasa en una membrana de una sección a otra.

Si la presión en el lado de la solución se incrementa por encima de la presión osmótica, la dirección del flujo cambia de sentido. Este fenómeno es la base de la ósmosis inversa.

Electrodialisis:

En este proceso de la corriente eléctrica provoca la separación parcial de los componentes de una solución iónica. La separación se realiza, colocando alternativamente membranas selectivas catiónicas y aniónicas al paso de la corriente. Cuando la corriente es aplicada los cationes son atraídos eléctricamente y pasan a través de la membrana de intercambio catiónico en una dirección, y los aniones cruzan a través de la membrana de intercambio aniónico en la otra dirección.

La electrodialisis es usada principalmente para eliminar la salinidad de las aguas.

Ultrafiltración:

Es un proceso de membrana que depende de una fuerza impulsora, presión y una membrana que es permeable a algunos de los componentes de una disolución líquida. La ultrafiltración se aplica para separar solutos que tienen un peso molecular superior a 500 (bacterias, virus, almidón, gomas, arcillas), y tienen presiones osmóticas muy pequeñas.

El mecanismo predominante en la ultrafiltración por membrana es el tamizado selectivo a través de los poros. El rechazo de una membrana para una sustancia determinada depende de su forma molecular, tamaño, flexibilidad y condiciones de trabajo.

Diálisis:

Es el fraccionamiento de solutos mediante diferencias en la velocidad de difusión de solutos específicos a través de membranas porosas.

4.3.5. Coagulación

Proceso en el que se lleva a cabo la eliminación de partículas coloidales, las cuales no fueron separadas mediante sedimentación. Para realizar esta operación se requiere un agente que se le agregue al agua para facilitar el asentamiento de materias coloidales que se encuentran en suspensión (coagulante).

La coagulación denota una serie de operaciones químicas y mecánicas que comprenden dos fases: la mezcla, aquí el coagulante disuelto se dispersa rápidamente en el agua mediante una fuerte agitación, y la floculación, durante la cual el agua es agitada a baja velocidad por un tiempo prolongado con lo cual se facilita la agregación entre sí de las partículas formando flóculos que tendrán tamaño suficiente para asentarse. Durante esta operación se eliminan materias coloidales, arcilla, limo, materia orgánica, algas y bacterias.

Coagulantes:

Los coagulantes más utilizados son el sulfato de aluminio y las sales de hierro. La desestabilización que producen están en función de la dosificación del coagulante, concentración coloidal y pH.

La concentración coloidal y la dosificación del coagulante dependerán de las características de la fuente de abastecimiento (carácter del color y turbiedad, caracteres químicos del agua, concentración de iones de hidrógeno, temperatura del agua, etc.,...)

Los valores del pH óptimos para las sales de aluminio varían dentro del intervalo de valores comprendido de 5.5 a 7.5; mientras que en el caso de las sales de hierro varían desde 5.5 hasta 9.

Mezclado:

Esta parte corresponde a la agitación mecánica o hidráulica del agua y del

coagulante para que se integren adecuadamente, formando partículas subvisuales en suspensión.

Las reacciones químicas que suceden en este momento son: la neutralización de las cargas negativas de las impurezas con el ión coagulante trivalente; la reacción del coagulante con la alcalinidad del agua y la formación de flóculos de óxido hidratado coloidal con carga positiva; y finalmente la adsorción superficial de impurezas por los flóculos resultantes de los fenómenos anteriores.

Periodo de Coagulación:

Es el lapso que transcurre entre la adición del coagulante al agua y el final de la agitación del agua a una velocidad que impida el asentamiento de las materias floculadas. Los tiempos de agitación varían de 3 a 90 minutos, siendo los valores más comunes de 10 a 30 minutos.

Floculación:

Es el medio con el cual se convierten los flóculos pequeños en flóculos más grandes que se asentarán más rápidamente.

4.3.6. Oxidación Química

Proceso en el cual aumenta el estado de oxidación de una sustancia. La oxidación equivale a una pérdida de electrones y la reducción a una ganancia de

los mismos.

La oxidación de los compuestos se encuentra ligada a las siguientes reacciones:

1. Adición de oxígeno.
2. Pérdida de hidrógeno.
3. Pérdida de electrones, con o sin pérdida de protones.

En el tratamiento de aguas y aguas residuales, la oxidación, convierte las sustancias químicas nocivas en sustancias que no sean peligrosas ni ofensivas. Según las condiciones de oxidación y el tipo de oxidante, se forman productos intermedios de oxidación que tienen toxicidad más baja y características menos ofensivas. Regularmente los tiempos de oxidación son largos y se requiere para ello equipo especial, por lo que es necesario ser selectivos en las sustancias inorgánicas (ión Manganeseo (Mn^{2+}), ión ferroso (Fe^{+}), ión sulfuro (S^{2-}), ión cianuro (CN^{-}), ión sulfito (SO_3^{2-})) y orgánicos (fenoles, aminas, compuestos tóxicos, bacterias, algas), compuestos que dan color, olor y sabor, a degradar.

Para seleccionar los agentes oxidantes adecuados es necesario considerar:

1. Eficiencia del tratamiento.
2. Costo.
3. Facilidad de Manejo.

4. Compatibilidad con etapas de tratamiento anterior o posterior.

5. Naturaleza de la operación de oxidación.

Los agentes oxidantes que son más usados considerando las recomendaciones anteriores son:

a) Oxígeno (o aire).

b) Ozono.

c) Agua oxigenada.

d) Permanganato de potasio.

e) Cloro (o hipocloritos).

f) Dióxido de cloro.

4.4. Remoción de Hierro y Manganeso

El hierro y manganeso son encontrados comúnmente en los esquistos, las areniscas y los depósitos aluviales, frecuentemente se encuentran en pozos poco profundos de terrenos aluviales. En las aguas superficiales estos minerales son solubles ante la presencia de dióxido de carbono.

El contenido total permisible de hierro y manganeso es de 0.3 mg/L. La presencia de los minerales ya señalados, promueve el desarrollo de organismos del género crenotrix y bacterias ferruginosas las cuales se alimentan de los minerales, y provocan condiciones anaeróbicas.

La eliminación del hierro y manganeso es realizada por agentes oxidantes como oxígeno, cloro, ozono, permanganato o cualquier otro agente que no produzca residuos.

La eliminación del manganeso, puede ser llevada a cabo aumentando el pH en un intervalo de valores del 8.5 a 10, agregando un álcali, aireando el agua y pasarla por un lecho de pirolusita, con lo que se producirá la oxidación. También puede ser eliminado por coagulación y precipitación con coagulantes férricos, caparrosa y cloro. Otro método alternativo es el intercambio catiónico.

La eliminación del hierro se realizará utilizando cloro, el cual, destruye los complejos de hierro y la materia orgánica provocando que se oxiden fácilmente;

otra alternativa es inyectar oxígeno disuelto para producir oxidación, en caso de no utilizar el proceso de oxidación, será necesario aumentar el valor del pH (agregando cal) a más de 8.5, para que cuando el hierro y/o manganeso se combinen con materia orgánica sean oxidados por el oxígeno disuelto.

En los casos anteriores se tendrá cuidado en utilizar el oxígeno disuelto y el cloro en las dosis adecuadas.

4.5. Desinfección

Es un proceso químico en el cual los organismos patógenos son destruidos o inactivados. El mecanismo de destrucción de los organismos en la desinfección depende principalmente de la naturaleza del desinfectante y el tipo de organismo. Existe evidencia de que la mayor parte de los desinfectantes destruyen la proteína de la pared celular, preferentemente por inactivación de los sistemas enzimáticos críticos, enzimas esenciales para la vida microbiológica.

El mecanismo de desinfección implica dos pasos:

- 1. Penetración del desinfectante a través de la pared celular.**
- 2. Reacción con las enzimas dentro de la célula.**

En general las moléculas neutras penetran con mayor rapidez las paredes celulares negativamente (Microorganismos Gram-negativos).

Factores que influyen en la desinfección del agua:

- a) La naturaleza y el número de organismos a eliminar.**
- b) El tipo y concentración de los desinfectantes usados.**
- c) Entre más alta sea la temperatura del agua, la desinfección será más rápida.**
- d) El tiempo de contacto, pues el efecto de desinfección es más eficiente**

cuando el desinfectante tiene mayor tiempo de contacto con el agua y el organismo.

e) El tipo y característica de la materia orgánica.

f) El pH del agua.

g) Mezclado. Un buen mezclado propicia la dispersión del desinfectante, por lo que se tendrá una desinfección más alta.

h) Efecto residual deseable en las vías entubadas de distribución del agua potable.

Métodos físicos de desinfección:

Ebullición del agua y radiación con rayos ultravioleta.

Ebullición del agua:

Este método complementario de desinfección es seguro, siempre y cuando, el agua se encuentre en hervor por tiempo suficiente, ya que son eliminados microorganismos patógenos (bacterias, etc.). Puede ser un tratamiento doméstico muy efectivo, pero no es muy factible su práctica en comunidades enteras.

Radiación con rayos ultravioleta:

Este método es efectivo cuando el agua se encuentra libre de turbiedad, pero como la radiación no cuenta con efecto residual el agua no tendrá protección si llega a contaminarse nuevamente.

Métodos químicos de desinfección:

Un buen desinfectante químico debe poseer las siguientes características:

- * Debe eliminar rápida y eficientemente los organismos patógenos que se encuentran en el agua.
- * Debe ser fácilmente soluble en agua en las concentraciones requeridas para la desinfección, y debe proveer un efecto residual.
- * No debe impartir sabor, olor o color al agua.
- * Debe ser fácil de detectar y medir en el agua.
- * Debe ser fácil de manejar, transportar, aplicar y controlar.
- * Debe ser muy disponible y tener un costo moderado.
- * No debe producir compuestos tóxicos.

Los compuestos químicos que son más comúnmente usados como desinfectantes son: cloro, compuestos de cloro, iodo, ozono, permanganato de potasio y peróxido de hidrógeno.

A continuación se mencionarán sus ventajas y limitaciones:

Cloro y compuestos clorados:

Destruyen rápidamente los organismos patógenos y por su disponibilidad es muy usado para la desinfección. Su costo es moderado, por estas razones es el desinfectante más usado en el mundo.

Yodo:

Aunque el yodo tiene importantes propiedades como desinfectante, también sufre serias limitaciones. Se requieren altas dosis (10-15 mg/L), para llevar a cabo una desinfección adecuada. La desinfección no es muy efectiva cuando el agua se encuentra turbia, además de tener una alta volatilidad, por lo que se utiliza sólo en casos de emergencia.

Permanganato de Potasio:

Es un poderoso agente oxidante, muy efectivo al eliminar el vibrión colérico; pero no para otros organismos patógenos, por lo que no es un desinfectante muy recomendado.

Ozono:

Cada vez es más usado en los países industrializados, es muy efectivo en la eliminación de compuestos aunque ocasiona sabor y color al agua. El ozono otorga un efecto residual al agua lo que la protege de una posterior contaminación. Desafortunadamente los costos de instalación y operación son muy elevados.

CAPITULO 5

LA FILTRACION EN LOS PROCESOS DE POTABILIZACION

- 5.1. Filtración rápida**
- 5.2. Filtración por tierra diatomea**
- 5.3. Microfiltración**
- 5.4. Filtración a presión**
- 5.5. Filtros de cartucho**

Este capítulo está enfocado primordialmente a los otros tipos de tecnología de filtrado en la práctica del tratamiento de agua potable.

Veremos la filtración rápida, filtración por tierra diatomea, microfiltración, filtración a presión y los filtros de cartucho.

5.1. Filtración rápida.

La filtración rápida se divide en: recipientes abiertos o sin presión y a presión o cerrados.

Los filtros rápidos son contenedores rectangulares de lechos de arena con granulometría distinta, colocados sobre fondos especiales y con dispositivos que regulan la entrada y salida de agua, limpieza y extracción de fangos, funcionamiento automático y semiautomático.

La elección del tipo de filtro se basa en el carácter inicial del agua y en el costo total del sistema.

Capacidad y estructura:

Debe ser la correspondiente a la dotación señalada para una población futura. Pero es conveniente considerar un coeficiente del 1.5 para enfrentar los días de máximo consumo. También se acostumbra tener a la salida un depósito de regulación de agua filtrada para hacer frente a las variaciones de consumo,

esto se logra filtrando el agua las 24 horas. Se agregan de un 6 a un 8 por ciento más para el consumo de la limpieza de filtros, a los caudales obtenidos.

Velocidad:

Esencial para determinar la capacidad, es la velocidad de filtración. Las comúnmente admitidas pueden variar entre 5 y 15 m/h, es decir, 120 a 360 $m^3/m^2/día$. Otros autores recomiendan 81.5 L/min/ m^2 (117000 L/día/ m^2) a 122.2 L/min/ m^2 (176000 L/día/ m^2) y, aunque arbitraria, la capacidad de la mayoría de las plantas ha sido basada en ella. Con la experiencia se ha encontrado que pueden funcionar con velocidades más altas (hasta 2 ó 3 veces a la prevista sin perjudicar la calidad del efluente). Esta velocidad dependerá del tamaño, calibre y profundidad de los granos de arena, eficacia del tratamiento preliminar, la calidad del efluente, turbiedad, duración de ciclos de filtración y si ésta es sencilla o doble.

El número de unidades necesarias para alcanzar la capacidad deseada se fija según las ventajas e inconvenientes de su multiplicación. La superficie total de filtración se divide generalmente entre dos o más unidades. A más unidades mayor elasticidad de funcionamiento de la instalación, pero no conviene bajar de tres filtros de manera que dos de ellos proporcionen el caudal total mientras se limpia el otro. Además, disminuyendo el número de unidades disminuye el número de accesorios: reguladores de gasto, válvulas, aparatos de maniobra y control, etc., lo que aumenta el costo y limitan la superficie del filtro.

La capacidad varía de una fracción de L/día a 22.7×10^6 L/día. La profundidad total de los filtros varía de 2.40 a 3 m (de la superficie del agua al desagüe interior).

Lecho filtrante:

Para la elección de arena de los filtros rápidos, hay dos factores importantes a considerar:

- 1°. el descenso del agua a través de la arena.
- 2°. el paso del agua limpia hacia arriba a través de la arena.

Después de muchas experiencias prácticas se ha llegado a las conclusiones siguientes:

a) Desde el punto de vista de la filtración, conviene tener una arena que evite el paso de flóculos a través de los filtros y que detenga a éstos lo más flojamente posible facilitando el lavado y evitando la formación de lodos, además no debe obstruirse al detener el mayor volumen posible de flóculos.

b) Desde el punto de vista del lavado, la arena que conviene tener es una que se limpie sola y quede libre de flóculos adherentes al terminar un lavado y que permita el paso del agua con velocidad suficiente para quitar todos los sedimentos sin perder demasiada arena.

Actualmente se prefiere para un mejor tratamiento preliminar del agua, arenas más gruesas y velocidades más altas de lavado. Sobre las arenas gruesas se tiene la siguiente tendencia general:

- 1.- Duración más larga de los filtros
- 2.- Se prestan para un mejor lavado.
- 3.- Hay mayor penetración de los flóculos.

Así, la materia filtrante elegida (arena), debe tener en sus granos las siguientes características: duros, contener como mínimo un 98% de sílice para resistir los desgastes por frotamiento en los lavados y pueden ser redondeados (arena de río o mar), o angulosos (materiales molidos). También pueden ser empleados materiales como: antracita muy dura de calidad especial, mármol, dolomita o esmeril.

El tamaño efectivo de los granos debe ser:

De 0.3 a 0.5 mm.

Para velocidades altas de filtración, hasta 25 m/h, o para grupos móviles de filtración sin decantación previa con coagulación directa en el filtro y aguas brutas con turbiedad < 200 mg/L. Pérdida de carga máxima: 0.60 Kg.

De 0.9 a 1.0 mm.

Para después de una buena decantación, o en capa homogénea en los filtros de falso fondo con limpieza por aire y agua. Pérdida de carga: 0.40 Kg.

De 1.3 a 1.5 mm.

En aguas bien desbastadas o aguas industriales. Pérdida de carga 0.15 Kg. y 0.2 Kg respectivamente.

De 2.0 a 2.5 mm.

En desbastadores de aguas industriales con 0.2 Kg de pérdida de carga.

De 3.5 a 10 y 25 mm.

Para capas soporte.

La capa de grava de un filtro rápido está formada por piedras cuyo diámetro entre 7.6 cm y 1.6 mm separadas según el tamaño y colocadas cuidadosamente con las piedras más grandes en el fondo. La profundidad total de esta capa varía de 15 a 60 cm pero pocas veces se emplean espesores menores de 45 cm. Para la arena, profundidades de hasta 76 cm y ahora se acostumbra 60 y hasta 45 cm.

Lechos de soporte:

Estos lechos de soporte conocidos como desagüe inferior tienen un doble propósito: proporcionan salida al agua que atraviesa el filtro e introducen el agua de lavado por la parte baja del filtro. Son elementos delicados de un filtro ya que de ellos depende que la distribución del agua de lavado sea uniforme.

Pueden ser...

De boquillas normalizadas.

De colectores ramificados o perforados.

De colchón de aire.

De colchón de aire y fondo poroso.

Se fabrican de hormigón armado con boquillas de materiales tales como: poliestireno, porcelana, bronce, latón o acero inoxidable, hormigón poroso y viguetas prefabricadas.

Sistema de lavado:

Se lava un filtro para remover de éste todas las impurezas en suspensión que ha recogido durante su funcionamiento. Un lavado eficiente requiere de quitar las partículas sueltas y de agitar los granos de arena.

El lavado básico requiere del paso de una corriente de abajo hacia arriba de agua filtrada a alta velocidad (lo suficiente para llevarse el material en suspensión), conocido también como lavado por contracorriente.

Fundamentalmente hay dos sistemas de lavado:

- Con aire y agua a presión.
- Solo con agua.

Complementariamente se usan:

- El sub-superficial.
- El superficial.

Normalmente se evacúa el agua superiormente en canaletas de evacuación y en filtros pequeños por medio de canales laterales.

Un lavado completo puede hacerse de 3 a 5 minutos.

Deberán tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

1) Es perjudicial tener la presencia de una capa gelatinosa permanentemente sobre los granos de arena.

2) El lavar totalmente la arena evita la acumulación de lodo y la contracción y agrietamiento de éste.

3) Si se aplica regularmente el lavado, podrá conservarse limpia. La velocidad necesaria debe causar la expansión del lecho de arena hasta un 150% de su volumen en reposo.

4) La velocidad del agua de lavado varía en función inversa de la viscosidad del agua de lavado y, por lo tanto, directamente de la temperatura.

Después del lavado, se aconseja desechar el agua filtrada en los primeros minutos y asegurarse al medir la turbiedad, con un instrumento exacto, de la calidad del agua.

Canaletas de lavado:

Se construyen de concreto, metal o madera con una gran variedad de las formas de los perfiles (desde la semicircular a la triangular).

Para su buen funcionamiento, se necesita que el nivel del agua en ellas sea menor a la altura de las paredes, de modo que no funcionen ahogadas y para lograr esto deben ir colocadas a no menos de 0.10 m. por encima de la altura de expansión de la arena.

Deben conservar una inclinación de modo que no recorra horizontalmente el agua más de 1.05 m. Separados de 1.50 m a 2.10 m y con anchos de 0.40 m.

Se proyectan para conducir agua de lavado con subida vertical de 1.20 m/min.

Velocidades de lavado:

Con un depósito elevado (6 ú 8 metros) o con una presión de 0.60 Kg/cm² y un gasto de 0.33 m³/m²/h se logra un buen lavado y para asegurarse dejarlo durante 10 minutos.

El caudal de las canaletas es recomendado a ser entre 4 y 8 m³/m²/h.

Equipo de los filtros rápidos:

Una unidad de filtración debe llevar controles de gasto mediante válvulas en el efluente, afluyente, llegada del agua de lavado, desagüe de la misma y tubos de relavado.

Además se deben colocar controladores de gasto del tipo Venturi en el efluente del filtro. Contadores y registradores que muestran el gasto y la pérdida de carga. Asimismo, indicadores de expansión de arena. También es necesario un control turbidimétrico del efluente y dispositivos de visibilidad de agua filtrada.

Todos estos equipos están conectados a una sala de control y maniobras donde los operadores puedan atender las indicaciones de los instrumentos y de ser posible ver desde allí lo que ocurre en la instalación.

Origen y factibilidad:

Las primeras pruebas de filtración rápida se realizaron en 1893-94 y los años siguientes hasta 1901 en diversas ciudades de los Estados Unidos (Providence, Cincinnati, Washington, etc.) por investigadores como E.B. Weston, G.W. Fuller, Allen Hazen, A.M. Miller, etc.

Su invención proporcionó la solución a la falta de aguas naturales de superficie apropiadas para la purificación con la filtración de arena lenta. Con la filtración rápida las aguas muy turbias, pretratadas con la coagulación y la sedimentación pueden filtrarse satisfactoriamente.

Las diferencias con los filtros de arena lenta son:

- a) La velocidad es 50 veces mayor.
- b) Necesidad de coagulación y decantación previa.
- c) No precisa de la formación de la película biológica.
- d) Empleo de arenas de mayor tamaño.
- e) Limpiezas más frecuentes.

Al liberarse las patentes, los filtros rápidos se hicieron más accesibles y ha proliferado su construcción. Se acepta la filtración rápida como medio satisfactorio para corregir: turbiedad, contaminación por bacterias y otros microorganismos y, en cierta medida: sabores, color, aromas. Cuando estos parámetros son altos, la filtración rápida aventaja a la lenta en facilidad y rapidez con las cuales un filtro rápido puede lavarse y ser puesto nuevamente en servicio.

Son eficaces para tratar aguas altamente contaminadas, y las sujetas a variaciones extremas en la contaminación y turbiedad, y otras características mostradas en la tabla siguiente:

CARACTERISTICAS GENERALES DE CONSTRUCCION Y OPERACION DE LOS FILTROS LENTOS CONVENCIONALES Y DE LOS FILTROS RAPIDOS DE ARENA.

	FILTROS LENTOS	FILTROS RAPIDOS
Velocidad de filtración	9.35 m ³ por m ² por día	9.35 a 2.80 m ³ por m ² por día
Tamaño del lecho	2.023 m	404.7 m
Profundidad del lecho	30.5 cm grava 1.06 cm arena	45.6 cm grava 76 cm arena
Tamaño de la arena	0.25 a 0.35 mm Cu de 2.5 a 3	0.45 y mayores 1.5 y menor
Distribución del tamaño de arena	No estratificado	Estratificado
Sistema de drenaje inferior	Laterales de arcilla seleccionados	Tubos laterales perforados
Pérdida de carga	3.04 cm final 1.52 cm inicial	30.48 inicial 2.74 m final
Duración del ciclo	20 a 60 días	12 a 72 hr
Penetración de la materia suspendida	Superficial	Profunda
Tratamiento preparatorio	Ninguno	Cloración
Costo construcción	Alto	Bajo
Costo operación	Bajo	Alto
Costo depreciación	Bajo	Alto

Es importante la colocación de un tratamiento preliminar, además de incluir cloración antes o después del tratamiento para eliminar olores, sabores y bacterias.

Este tipo de filtración es adecuada para tratar casi todas las aguas superficiales, y para ablandamiento de agua.

5.2. Filtros de tierra diatomea.

Este sistema de filtración se inventó durante la Segunda Guerra Mundial para su uso en instalaciones militares. Se trata de un filtro a presión de alto rendimiento, de reducido tamaño en comparación con los filtros rápidos y no requiere gente especializada para su manejo, no requiriendo de tratamiento preliminar ni emplea productos químicos. Pueden ser por gravedad o por presión.

La tierra diatomácea contiene esqueletos de diátomos que son algas verdes (Filum cricofitas) cuyo célula está rodeada de una membrana silícea que les dá un peso mayor que el de otras algas. Los fósiles de estas algas son los que se emplean como tierra de diatomáceas y es esta la que se utiliza como medio filtrante. Se extrae de depósitos acumulados en los mareas prehistóricas.

Los diátomos de 0.5 a 12 micras de diámetro es un polvo blanco y fino, como talco, que se adhiere fácilmente a las superficies. Esto se utiliza para formar sobre un medio poroso, a través de una capa de recirculación, una capa firme sobre éste llamada precapa, que requiere para su formación alrededor de 0.045 a 0.227 Kg de tierra diatomácea por 0.0929 m² de medio poroso.

El agua se filtra a través de la precapa, pero si el agua filtrada tiene demasiada turbidez se puede presentar bloqueos en los poros. Para que la unidad pueda mantenerse funcionando deberá introducirse una cantidad adicional de tierra diatomácea que recibe el nombre de alimentación continúa o integral al

agua entrante para preservar la textura abierta de la capa o torta.

La alimentación continúa se da en una relación de aproximadamente 1.25:1 sobre base seca cuando las aguas contienen limos inorgánicos. Cuando se trata de limos orgánicos la relación será de 3:1. El filtro opera a velocidades de 102 a 245 litros/min/m². La torta filtrante de desecho se remueve mediante velocidades de retrolavado de 285 a 407 litros/min/m².

Actualmente, se utilizan en acueductos municipales en los Estados Unidos de América, en unidades estacionarias para albercas o piscinas y en unidades móviles para purificación de agua en el campo.

Aunque es muy efectivo para la eliminación de los quistes de Endamoeba histolytica (cuya reducción por cloración siempre resulta difícil, aún no se tienen resultados seguros en cuanto a rendimientos, costos, etc., debido a lo reciente de su aparición en el campo de la filtración y además presenta las mismas objeciones que los filtros a presión. Con el paso del tiempo y la acumulación de experiencia se podrá decidir definitivamente sobre el futuro de este sistema, que no deja de ser útil en los lugares donde las circunstancias del tratamiento del agua, así lo recomiendan.

5.3 Microfiltración.

Los microfiltros son otra opción en la purificación de agua. Se usan en el tratamiento de aguas para remover algas, plancton y partículas gruesas. En algunos casos los microfiltros se usan como pretratamiento para los filtros de tierra diatomea, pero también se pueden usar como paso único de filtración. El uso de microfiltros sin más filtración es posible si el agua cruda está libre de color y turbiedad coloidal y contiene distintos organismos en suspensión. Aunque no es común su aplicación por sus costos elevados.

La microfiltración se lleva a cabo mediante un cilindro o tambor con rotor (es decir, giratorio) de 0.60 a 3.00 m de diámetro y colocado en un tanque rectangular. Se recubre con una malla fina de 0.025 mm aproximadamente y pueden ser de acero inoxidable o telas de poliéster tejida. Esta última opción es preferible si el agua ha sido clorada o tamizada.

Al girar el tambor obliga a pasar a la malla dentro del agua y así retener las partículas. Las aberturas de las rejillas oscilan de 63.5 m de 12.7 mm, el claro de las cribas convencionales decrece de este último valor hasta magnitudes tan pequeñas como 0.79 mm. Los microfiltros para remoción de plancton de los suministros de agua potable tienen aberturas hasta de 20 micras (2×10^{-4} cm.) por lado.

En comparación, las aberturas en los filtros de arena limpios son del orden

de 10^{-2} cm de diámetro en los filtros lentos y de 10^{-1} cm en los filtros rápidos. Y los filtros de tierra que contienen diatómeas tienen diámetros de poro que se encuentran por debajo de las aberturas de las mallas de los microfiltros.

Volviendo al mecanismo de los microfiltros, se tiene que el influente entra al final del tambor y fluye hacia afuera por dentro del tanque. El tambor rota a razón de 1 a 3 revoluciones por minuto e inyectores rocían y lavan por la parte superior a medida que va pasando para evitar que se tape. El lavado consume entre el 1.0% y 3% del agua filtrada.

Las pérdidas de carga se elevan conforme se acumulan los materiales. Normalmente de dos tercios a tres cuartos del área superficial del tambor está sumergida durante la filtración. El llenado de la malla está expresado en términos del flujo por área superficial sumergida. Se pueden obtener tambores comerciales de 1.22 a 3.66 m de diámetro y de 0.3048 a 4.88 m. de altura.

Los microfiltros, de mejor desarrollo en Inglaterra, se suelen usar en los siguientes casos:

- 1) Aguas muy cristalinas provenientes de embalses pero con alto contenido de plancton.

- 2) Para demorar el llenado de los filtros lentos, cuando hay grandes partículas que contribuyen a la rápida obstrucción del medio filtrante.

de 10^2 cm de diámetro en los filtros lentos y de 10^1 cm en los filtros rápidos. Y los filtros de tierra que contienen diatómeas tienen diámetros de poro que se encuentran por debajo de las aberturas de las mallas de los microfiltros.

Volviendo al mecanismo de los microfiltros, se tiene que el influente entra al final del tambor y fluye hacia afuera por dentro del tanque. El tambor rota a razón de 1 a 3 revoluciones por minuto e inyectores rocían y lavan por la parte superior a medida que va pasando para evitar que se tape. El lavado consume entre el 1.0% y 3% del agua filtrada.

Las pérdidas de carga se elevan conforme se acumulan los materiales. Normalmente de dos tercios a tres cuartos del área superficial del tambor está sumergida durante la filtración. El llenado de la malla está expresado en términos del flujo por área superficial sumergida. Se pueden obtener tambores comerciales de 1.22 a 3.66 m de diámetro y de 0.3048 a 4.88 m. de altura.

Los microfiltros, de mejor desarrollo en Inglaterra, se suelen usar en los siguientes casos:

- 1) Aguas muy cristalinas provenientes de embalsos pero con alto contenido de plancton.
- 2) Para demorar el llenado de los filtros lentos, cuando hay grandes partículas que contribuyen a la rápida obstrucción del medio filtrante.

3) Para disminuir la demanda de cloro cuando no se hace otro tratamiento al agua.

En ausencia de experiencias previas el agua que se otorga a una localidad se determina por pruebas piloto. Son comunes los gastos de 1.76 a 8.79 L/min/m² de área sumergida en abastecimiento de agua.

5.4 Filtración a presión.

Como ya vimos los filtros rápidos incluyen a los de presión cuya actividad se realiza en recipientes cerrados y sometidos a presión (de ahí su nombre).

Estos pueden ser: verticales u horizontales, y a su vez ser lavados: por aire y agua y por agua solamente respectivamente.

Estan basados en el mismo principio que los filtros de arena rápida del tipo gravedad, de donde viene la denominación de vertical y horizontal es por la posición de los desagües.

Estos filtros se utilizan donde el agua cruda se suministra bajo presión y se requiere entregar el agua sin bombeo adicional. Son adecuados para acueductos municipales; instalaciones industriales, piscinas, etc., pues presenta la ventaja de que la floculación se realiza dentro del filtro colocando en el afluente un recipiente con una mezcla de sulfato de aluminio y sulfato de amonio, así, cuando pasa el agua se disuelve dicho coagulante.

El pretratamiento requerido depende de la calidad final deseada del agua, y efectuándose tan cuidadosamente como en cualquier tipo de filtro.

Los filtros a presión tienen los mismos problemas de funcionamiento que los filtros rápidos normales, excepto por la aglomeración de aire. El descuido y

la mala aplicación del agua y por parte del operador son causa de esas dificultades, ambas se deben a la complicada naturaleza propia de los filtros.

Su utilización para uso doméstico no está aprobada por las siguientes objeciones:

a) La mezcla, la coagulación y la sedimentación efectivas del agua filtrada se dificultan precisamente por el tratamiento del agua a presión. Muchos filtros no tienen un sistema adecuado de coagulación.

b) La adición de productos químicos al agua se dificulta bajo presión.

c) Se dificulta la observación del agua filtrada, la capa de arena, la efectividad del lavado con agua y el grado de agitación durante el lavado.

d) Tanto la inspección, cambiar el arena, grava y los desagües, así como su limpieza son difíciles.

e) No se pueden colocar tubos de evacuación del agua de lavado diseñados de tal manera que el material extraído del agua caiga directamente en el desagüe y no sea devuelto a otras partes de la capa de arena.

f) Estas unidades bajo presión demandan el bombeo continuo y la introducción forzada del agua en las capas a un ritmo, a veces, exagerado y

destruictivo.

Los filtros a presión tienen las siguientes características:

Filtros Verticales. Cilindros cubiertos con casquetes esféricos, fondo metálico con colectores que sostienen un lecho filtrante de granulometría homogénea de 0.9 a 1.0 mm. Con una velocidad de 4 a 10 m³/m²/hora pasa el agua bruta sobre el lecho y es recogida en el fondo y evacuada. Lleva una tubería de aire comprimido y otra para el agua de lavado (que permite también el lavado por contracorriente), se tiene una salida de fangos y una para evacuar el aire. La velocidad del agua de lavado es de 15 a 20 m³/m²/por hora. El caudal del aire de lavado es de 60 m³/m² por hora. La pérdida de carga de 50 a 300 g/cm².

Para la limpieza se cierra la válvula de llegada, la salida de lodos y la evacuación de aire, se conecta el electrocompresor y se abre la entrada de aire y levemente la del agua de modo que no haya arrastre de arena. Se cierra 10 minutos la inyección de aire y se detiene el electrocompresor, se abre completamente la entrada de agua. Cuando el agua fangosa se torna limpia se cierra la válvula. Se cierra la válvula de evacuación de aire cuando fluye agua por ahí y se cierra la válvula de lavado y se vuelve a abrir la válvula de llegada.

Como puede observarse la limpieza es un procedimiento complicado, siendo el anteriormente mencionado, el más sencillo. Existen otros llamados: por

retorno de aguas, lavado por doble corriente (dividido en lavado primario y secundario).

Filtros horizontales. De estructura semejante los filtros horizontales tienen un fondo falso que sostiene el lecho. El agua bruta llega por la parte superior. El registro de hombre y la tubería de evacuación de aire con su llave, su canal de evacuación de lodos y su llave de salida de los mismos al desagüe se completan, como en los verticales, con la admisión de aire a presión, de agua filtrada y de vaciado.

5.5 Filtros de cartucho.

Estos filtros se utilizan para dar protección contra obturamiento en los procesos de ósmosis inversa o electrodiálisis.

Los hay disponibles en tamaño de poro nominal y se requiere limpieza o cambio cuando hay pérdida de carga. Los más comunes son de 5 a 25 μm y generalmente están previstos de suministro de equipo total o parcial. Existen configuraciones tales como: fibra enrollada, fibra enlazada y malla metálica entretejida. Las medidas comunes de un cartucho son de 5 a 7.6 cm de ancho y de 10 a 76.2 cm de largo.

El uso de estos filtros en el tratamiento de agua potable se da más en áreas de los Estados Unidos como Florida y el Suroeste de ese país.

CAPITULO 6

FILTRACION LENTA

- 6.1. Antecedentes**
- 6.2. Principios de operación.**
- 6.3. Teoría sobre la filtración**
- 6.4. Medio filtrante**
 - 6.4.1. Materiales filtrantes granulares**
 - 6.4.2. Tamaño de los granos y su distribución**
 - 6.4.5. Forma del grano y variación de la forma**
 - 6.4.6. Preparación de la arena para filtros**
- 6.5. Pérdida de carga**
- 6.6. Lavado del filtro**
- 6.7. Drenes**
- 6.8. Tasas de filtración**
- 6.9. Operación**
- 6.10. Equipo**
- 6.11. Costos**

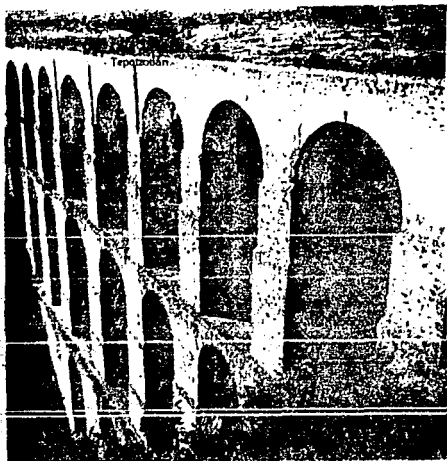
6.1. Antecedentes

A lo largo de la historia se sabe que universalmente el hombre se preocupó por obtener agua cristalina y con buen sabor, siendo estos los parámetros para determinar el agua como pura. Nuestros antepasados usaban métodos, que no por rudimentarios dejaban de ser eficientes, para obtener agua potable según las características anteriormente mencionadas. Como ejemplo de ello se puede citar:

América - Piedras porosas en tinajeros

Europa - Esponjas, paños, lana y otros materiales

En cuanto a cantidad nuestros abuelos (léase antepasados) no tenían que preocuparse mucho por el abastecimiento, pues la obtenían de aguas superficiales. Aunque en algunos casos si tuvieron que recurrir al agua subterránea (Medio Oriente), o a elaborar obras de conducción que casi siempre están consideradas como sorprendentes. (Tenochtitlán, Roma).



Con el paso del tiempo y la expansión de la raza humana a todos los rincones del planeta, el problema del abastecimiento de agua se fue acrecentando, ya que fueron creándose núcleos poblacionales ya no tan cerca de las tradicionales fuentes de abastecimiento. Aunado a ese problema, a partir de la Revolución Industrial (y aún antes), comenzaron a generarse los terribles problemas de escasez y contaminación que hoy nos agobian.

De triste recuerdo con las epidemias que asolaron el planeta entero (principalmente Europa y América) durante los siglos XVI y XVII. Más de actualidad son los problemas gravísimos y extendidos de contaminación de acuíferos, ríos lagos y mares por el creciente número de industrias que descargan, a veces sin tratamiento en estos cuerpos de agua.

Fue en Europa, concretamente en Inglaterra (Paisley, Escocia), en 1804 donde surge la idea de instalar filtros para toda una población, pues para ese entonces ya los científicos se habían dado cuenta de las ventajas que proporcionaba el filtrado con arena, ya que se apreciaba que el agua quedaba clarificada y diáfana, lo máximo en aquella época cuando no se conocían los microorganismos. En 1828-1829 se construye en Londres la primera planta de filtros lentos de arena, el nombre de sistema inglés que se le dió resulta obvio.

Surgen dos escuelas, las que propugnan por la filtración descendente (por el sentido del flujo de agua) y la ascendente. Poco a poco se impone la primera y se popularizan por toda Europa y América los filtros lentos.

A mediados del siglo XIX surge la microbiología y con los descubrimientos de L. Pasteur y R. Koch le dan un auge todavía mayor a la filtración, con lo cual a principios de este siglo ya muchas ciudades del viejo y nuevo mundo contaban con este servicio. El período de investigación y desarrollo se da a partir del siglo XIX, después del cual los primeros quince años de este siglo sirven para realizar la construcción de numerosas plantas de filtración. Por último viene hasta la actualidad el período de perfeccionamiento y ampliación. Durante los últimos sesenta años, tanto la teoría como la práctica de la filtración, se ha venido desarrollando notablemente, prestando atención al ablandamiento del agua, la corrección de sabores y olores, la prevención de la corrosión y la eliminación del manganeso, pero sin que se le hayan hecho modificaciones substanciales al proceso final.

6.2. Principios de operación

Un filtro lento de arena consiste de un tanque abierto en su parte superior y que contiene un lecho de arena. La profundidad del tanque puede ser hasta 3 m y el área variará de unas decenas de metros cuadrados a cientos de ellos. En el fondo del tanque se tiene un sistema de bajo drenes el cual soporta el lecho filtrante. Este lecho esta compuesto de arena fina graduada, libre de materia orgánica y finos. El lecho filtrante tiene de 1.0 a 1.2 m de espesor y el agua a tratar permanece de 1.0 a 1.5 m sobre la capa filtrante.

Esta provisto de un efluente y afluente con válvulas y sistemas de regulación que mantienen constante el funcionamiento del nivel de agua y la tasa o velocidad de filtración.

Al iniciar el proceso se deja entrar el agua cruda, ya establecido el nivel de ésta sobre el lecho de arena, empiezan a ocurrir los fenómenos ya mencionados. El agua ya filtrada pasa del sistema de bajo drenes a un medidor de flujo y luego a una cámara o tanque de regulación de donde se manda a la red de distribución. También se tienen dispositivos de salida y entrada de aire para evitar una mala filtración.

Después de un período de funcionamiento se efectúa la limpieza del filtro mediante el raspado de los granos de arena.

Es posible encontrar muchas variaciones del filtro lento de arena, dependiendo del gasto que maneje, condiciones propias del terreno, etc., pero todos los nuevos procesos conservan el mismo principio.

6.3. Teoría sobre la filtración

En la filtración lenta, la remoción de impurezas se produce por una combinación de diferentes procesos. Dichos procesos se agrupan en una serie de teorías físicas, electroquímicas y biológicas. Dependiendo de las circunstancias alguna de ellas controlará la operación; la calidad del agua cruda, el pretratamiento, la naturaleza y composición del medio filtrante, las velocidades de filtración y las duraciones de los ciclos son las circunstancias a considerar.

El proceso de filtración comienza con el cernido de las partículas de mayor tamaño en la parte superior del lecho filtrante aprovechando que el tamaño de los poros es menor que dichas partículas (no así en el caso de partículas en suspensión y bacterias). Posteriormente se empieza a formar el Schmutzdecke*, donde se van acumulando nutrientes que sirven de caldo de cultivo microbiológicos donde estos seres se multiplican y proliferan. La acumulación de impurezas y la formación de la capa filtrante aumenta la eficiencia del filtrado. Periódicamente hay que raspar y remover la capa superior de arena para su limpieza. Todo esto produce una pérdida de carga hidráulica recuperable al limpiarse el filtro.

* (Schmutz, suciedad o impureza. Decke, cubierta o capa biológica.)

A medida que se acumulan las impurezas en los vacios reducen el tamaño de ellos y se operan una serie de fenómenos, de los cuales los más aceptados se muestran en el cuadro siguiente:

TEORIA	PROCESO
Física	Cernido o Intercepción física Sedimentación Impacto inercial Contacto casual
Electro-química	Difusión Adsorción Fuerza de Van der Waal Efectos electrocinéticos Floculación
Biológica	Actividad biológica

La sedimentación que viene después del cribado es equivalente a que actuase un sedimentador de superficie de varios metros cuadrados de área.

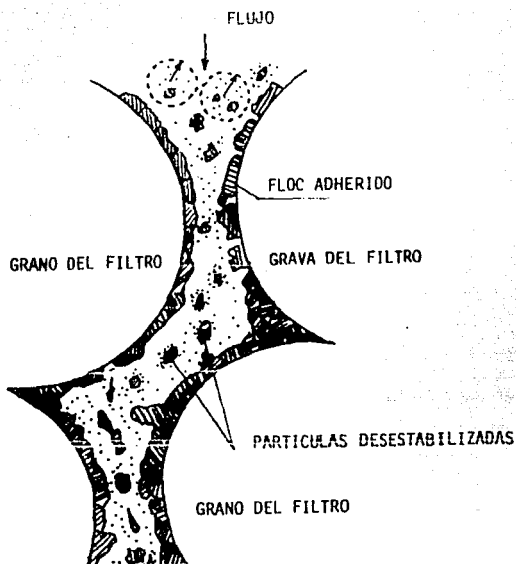
La eficiencia de la filtración como la de la sedimentación aumenta con la temperatura y demás procesos que modifican este proceso.

Después entra la cinética de la filtración, donde debe considerarse que hay partículas con mayor densidad que otras que son arrojadas por la fuerza de inercia contra los granos del medio filtrante. El que las partículas se queden ahí o no dependerá de la velocidad del flujo, la energía cinética de las partículas en suspensión, la viscosidad, la diferencia de densidad entre el fluido y la partícula, etc.

De interés es el resultado que produce la atracción electrostática ya que se considera que este fenómeno es el que más remoción de impurezas de tamaño pequeño produce.

Se distinguen dos aspectos: el transporte de los sólidos suspendidos y la adherencia entre ellos y los granos de arena; ambos aspectos son los responsables de la filtración.

El proceso ocurre únicamente entre partículas con cargas eléctricas opuestas y durará hasta que ocurra una sobresaturación en el medio. De este modo, las partículas con carga positiva que serán removidas por los granos de arena que tienen carga negativa son flóculos de aniones de carbonatos, hidróxidos de hierro y aluminio; y cationes de hierro y manganeso.



Pero también las partículas tenderán a ocupar áreas de menor concentración de impurezas a modo de establecer una concentración homogénea. A esto se le conoce como dispersión. La difusión a que se refiere al primer aspecto que produce la filtración es el transporte de los sólidos suspendidos pequeños por su propia estabilidad electrostática y osmótica.

Las fuerzas de Van der Waal son las responsables de la adsorción y la coalescencia de las dispersiones coloidales en medios filtrantes. Cuando una partícula suspendida se acerca a la superficie de un grano del lecho o a otra, empiezan a actuar las fuerzas que intervienen en la formación de la doble capa. Dependiendo del signo electrostático de las partículas las fuerzas de Van der Waals aumentarán o disminuirán en proporción inversamente proporcional con

la distancia de separación interparticular.

El potencial hidrógeno pH también influye en la filtración. Si varía el pH varían las cargas electrocinéticas de los coloidales. El pH influye en la forma como se desestabiliza el medio filtrante, en la pérdida de carga y en la penetración de las impurezas en el filtro. Al filtrar el agua y alcanzar el valor isoeléctrico $\text{pH}=7$ disminuye la pérdida de carga. La velocidad de desestabilización de las partículas determina la profundidad de la penetración del floculo dentro del lecho filtrante.

Otro de los procesos que se suceden en la filtración es la floculación. El filtro ocasiona el contacto entre las impurezas del agua y la superficie de los granos. Poco a poco el floculo aumenta de tamaño y se hace lo suficientemente grande como para que sea retenido, a pesar de la velocidad del fluido entre los intersticios del medio filtrante.

Aprovechando los aspectos electroquímicos de la filtración han surgido los "ayudantes de la filtración". Así han surgido el empleo combinado de polielectrolitos con medios mixtos (arena, antracita y otros). Podemos citar como ejemplo en particular el hexametáfosfato de sodio (Calgón) que ha dado buenos resultados.

Por otra parte, la actividad biológica desempeña un papel muy importante en la remoción de impurezas, por que la materia orgánica y los microorganismos

no removidos en los procesos anteriores se acumulan en la superficie del filtro formando la capa biológica ya mencionada, a través del cual debe pasar el agua antes de penetrar en la arena. Esta acumulación de materia beneficia al filtro y a este fenómeno se le conoce como proceso de maduración del filtro y es cuando un filtro viejo, bien conservado es más efectivo que uno nuevo en iguales condiciones.

La acumulación de materia orgánica atrae a las bacterias quienes se alimentan de aquella, se forma un microambiente donde conviven seres grandes y pequeños creándose una cadena alimenticia estable y donde a su vez se sucede la descomposición de materia orgánica o inorgánica tal como dióxido de carbono, sulfatos, nitratos y fosfatos; estos finalmente se descargan disueltos en el efluente.

La película biológica se debe remover cuando ocasiona una resistencia excesiva al paso del agua, de lo contrario resulta maléfica. El efecto total de toda esta actividad es la considerable reducción en el número de Escherichia coli y patógenos que puede llegar hasta el 95% y 70% respectivamente del total que llegan en el agua cruda.

Al construirse los filtros de arena al aire libre ocurre el crecimiento de algas por fotosíntesis. Esto representa desventajas pero también ayuda a remover materia orgánica y bacterias. Entre las numerosas formas acuáticas que se desarrollan destacan el plancton, diatomeas, protozoos y rotíferos, algunos

de ellos responsables de sabores indeseables.

Clasificación de los filtros:

Segun el medio Filtrante	Arena	Lentos	
		Rápidos	Granulometría decreciente en el sentido del flujo (medios mezclados).
	Granulometría creciente en el sentido del flujo.		
	Diatomáceas		
Medios porosos			
Segun su Estructura	Por gravedad		
	Por presión		

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

A continuación se presenta una comparación entre los filtros lentos y los rápidos en la tabla 2.

TABLA 2

COMPARACION ENTRE FILTROS DE ARENA RAPIDOS Y LENTOS

CARACTERISTICAS	FILTRO LENTO				FILTRO RAPIDO			
	m ³ /m ² /dia	7.00	9.33	14.00	m ³ /m ² /dia	87.50	117.50	137.00
Tasa de Filtracion	lt/seg/m ²	0.081	0.108	0.162	lt/seg/m ²	1.01	1.36	2.03
	cm/seg	0.0081	0.0108	0.0162	cm/seg	0.101	0.136	0.203
Profundidad del lecho filtrante	30 cms de grava 90 - 110 cms de arena				30 - 40 cms de grava 60 - 75 cms de arena			
Drenaje	Tuberias de gres o cemento perforado				Tuberias metalicas perforadas o placas porosas, falsos fondos, etc.			
Lavado	Raspando la superficie de la arena hasta reducirla a 60				Inviertiendo el flujo a presion con agua proveniente de un tanque de lavado o una bomba. Requiere galeria. Tasas de lavado 0.60 - 1.00 mts/min o 0.6 - 1.0 m ³ /min/m ²			
Perdida de carga	De 16 cms hasta 1.20 maximo				De 30 cms hasta 2.70 mts maximo			
Tiempo entre limpieza	20 - 30 - 60 dias				24 - 48 - 72 horas			
Penetracion del floculo	Superficial				Profunda			
Cantidad de agua usada en el lavado	0.2 a 0.6x del agua filtrada				1 a 6x del agua filtrada			
Tratamiento previo del agua	Ninguno o aireacion (rara vez floculacion y sedimentacion)				Floculacion y sedimentacion			
Costo de construccion	Mas alto				Mas bajo			
Costo de operacion	Mas bajo				Mas alto			
Area ocupada por los filtros	Mas grande, aproximadamente 30 veces que la requerida para el filtro rapido				Mucho mas pequena			

6.4. Medio Filtrante

6.4.1. Materiales filtrantes granulares

La arena es el material más utilizado por su fácil disponibilidad y su bajo costo. Bastante conocida también es la antracita (carbón), la cual puede formar medios mezclados con la arena o lechos independientes pero trabajando en conjunto con ésta.

Otros materiales que pueden utilizarse como medio filtrante son vidrio triturado, escorias, cierto minerales metálicos e incluso cáscara de coco triturada y de arroz tostado. Últimamente se ha experimentado con medios plásticos de variadas formas como hojillas, cubos y esferas; la evaluación de su eficiencia aún está por hacerse.

6.4.2. Tamaño de los granos y su distribución

En este punto hay dos aspectos a considerar: la grava y la arena.

Para determinar los parámetros de los granos se utiliza la serie americana estándar de mallas. Uno de estos parámetros es el Coeficiente de Uniformidad definidos como:

$$C_u' = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

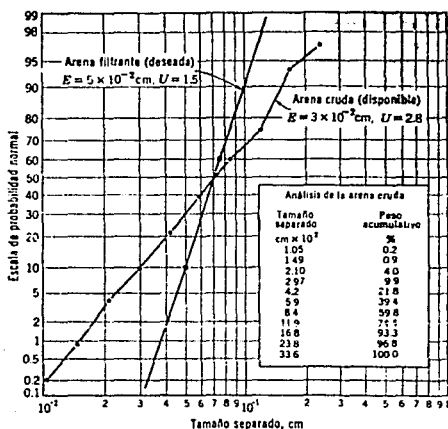
Donde:

D_{10} es la dimensión tal que el 10% de las partículas son menores en peso a esa medida. De igual manera se define D_{60} y D_{30} que se utiliza para determinar el:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} D_{10}}$$

que es el coeficiente de curvatura.

El diámetro efectivo E es la talla del cedazo ideal que deja pasar el 10%.



El coeficiente de uniformidad para arena de filtros lentos varía de 1.5 a 2.5 no debiendo exceder de 3.5.

El tamaño efectivo, E, va de 0.20 a 0.40 mm.

Serie de mallas E.U.A. (US)			
Número designativo* de la malla	Tamaño de la abertura, mm.	Número designativo de la malla	Tamaño de la abertura, mm.
200	0.074	20	0.84
140	0.105	(10)	(1.00)
100	0.149	16	1.19
70	0.210	12	1.68
50	0.297	11	2.38
40	0.42	6	1.36
30	0.59	4	1.76

* Aproximadamente el número de mallas por pulgada (mallas por 2.54 cm).

Grava.- Se colocan capas de grava en ocasiones para sostener los lechos de arena, pero también se coloca para que el agua fluya uniformemente y para impedir que los granos de arena penetren en los drenes y los destruyan. Un ejemplo de buena constitución del filtro es la siguiente:

NATURALEZA DE LA CAPA	ESPESOR DE LA CAPA EN MM
Agua sobre el filtro	0.90 a 1.30
Arena del filtro, diám. eficaz, $d = 0.35$ mm	0.60 a 1.20
Arena de soporte $d = 2$ mm	0.05
Gravilla de lecho $d = 6$ mm	0.10
Grava de lecho $d = 35$ mm	0.10
Grava de lecho $d = 15$ mm	0.10
Piedras englobando los drenes	0.15

Tabla 3: Espesores de capas sobre medios filtrantes lentos.

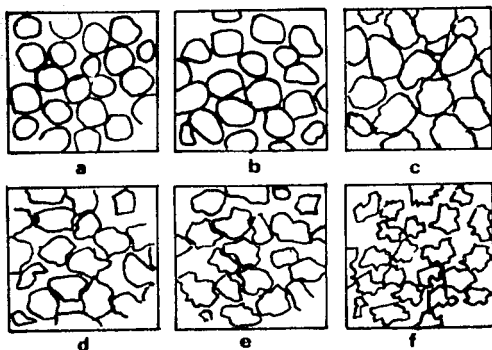
6.4.3. Forma del grano y variación de la forma

El área superficial de la arena para filtros es determinante en la operación como en las características hidráulicas del filtro. Se puede establecer el volumen de los poros y el volumen complementario de la arena, V , de un filtro. Como el área superficial, A , de los granos tienen una relación con el volumen de agua en el espacio de los poros, A/V , se emplea esta característica para formular el comportamiento de los filtros; se la denomina forma identificativa.

Otras mediciones de utilidad de la forma son la esfericidad, ψ , el factor de forma S y la porosidad típica, f .

DESCRIPCION	ESFERICIDAD, ψ	FACTOR DE FORMA S	POROSIDAD TIPICA, f
Esféricos, a	1.00	6.0	0.38
Redondeados, b	0.98	6.1	0.38
Desgastados, c	0.94	6.4	0.39
Agudos, d	0.81	7.4	0.40
Angulares, e	0.78	7.7	0.43
Triturados, f	0.70	8.5	0.48

Tabla 4: Efecto de las descripciones físicas de arena sobre sus parámetros característicos de filtración.



6.4.4. Preparación de la arena para filtros

La arena es el material más barato y por lo tanto el más ampliamente usado. Para poderla usar debe estar limpia, ser dura y resistente. De preferencia estar constituida por cuarzo o cuarcita. No debe perder más del 5% en peso después de estar en una solución de ácido clorhídrico al 40% durante 24 horas. Posteriormente se debe desinfectar poniéndola en contacto también durante 24 horas con agua que contenga 50 mg/L de cloro.

Preparado el filtro, se llena muy lentamente, y de abajo hacia arriba, de agua limpia. De este modo el aire contenido en los huecos y en los poros se desaloja en la misma dirección del agua; es importante que no queden entre la arena burbujas de aire pues son perjudiciales para una buena filtración. El filtro

se llena durante 12 horas y se deja en reposo durante otras 24 horas para que los granos se adhieran entre sí.

La cantidad de agua que atraviese el filtro no debe exceder el primer día de un espesor de un metro en las veinticuatro horas; el segundo día de 1.40; el tercero de 1.85 m; y el cuarto y sucesivos de 2.40 m. A partir de entonces con reguladores de gasto, se mantiene constante la carga sobre el filtro, para evitar las variaciones que perjudicarían la filtración y la estabilidad física obtenida en esta etapa de aclimatación.

6.5. Pérdida de carga

Es necesario conocer la pérdida de carga hidrostática para no forzar la marcha de un filtro, ya que la arena al oponer gran resistencia al paso del agua puede producir dentro de su masa presiones negativas (inferiores a la atmosférica), que libera aire y gases en disolución y al formarse burbujas se perturba la filtración.

Muchos autores han propuesto fórmulas para calcular las pérdidas de carga en el lecho filtrante y para determinar la penetración de las partículas en el lecho.

Pérdida de carga en un lecho filtrante:

- Fair y Hatch
- Rose

Penetración de las partículas en el lecho:

- Iwasaky e Ives
- Fair

Ecuación de Fair y Hatch:

Un flujo q al pasar a través de un medio granular, producirán las partículas del medio una carga por fricción H . Si el agua fuera totalmente pura, la H permanecería constante, pero al no ser así las partículas van llenando las

oquedades y producen una variación de H durante el proceso. Así pues la pérdida de carga total resulta:

$$H = h_f + h'_{\Phi}(t) + h''_{\Phi}(t) \dots 1$$

Donde:

h_f = Pérdida de carga ideal

$h'_{\Phi}(t)$ = Pérdida de carga producida por la capa biológica

$h''_{\Phi}(t)$ = Pérdida de carga producto de la disminución de la porosidad del lecho con el tiempo.

La pérdida de carga se calcula con la fórmula de Poiseulle

$$h_f = f \frac{L V}{D^2} \frac{v}{g} \dots 2$$

Donde:

h_f = pérdida de carga

v = velocidad del flujo

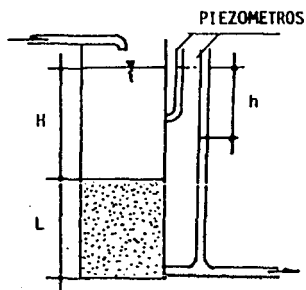
f = coeficiente de fricción

L = longitud del conducto

D = diámetro del conducto

g = gravedad

V = viscosidad cinemática



Se hicieron las siguientes suposiciones:

a) Diámetro D, igual al radio medio hidráulico, $R = D/4$

b) La porosidad, p, es la relación del volumen de vacíos al volumen total de la arena.

$$R = \frac{\text{Volumen granos del lecho}}{\text{Area granos del lecho}}$$

$$R = \frac{p}{1-p} \frac{V}{A}$$

c) La velocidad promedio del flujo es la velocidad de aproximación dividida por la porosidad.

$$v = \frac{v_s}{p}$$

d) La longitud L, se hizo igual a la profundidad del lecho.

Sustituyendo valores y ordenando:

$$h_f = \frac{f' L v}{g} = \frac{v_s}{p} \left(\frac{1-p}{p} \frac{A}{V} \right)^2 \dots 3$$

f' = constante experimental y adimensional, con valor usual de 5.

Posteriormente, hay que considerar 4 casos:

- a) Partículas esféricas y diámetro uniforme
- b) Partículas no esféricas y diámetro uniforme
- c) Partículas no esféricas, diámetro no uniforme, sin estratificación en el lecho.
- d) Partículas no esféricas, ni de diámetro uniforme, con estratificación.

Para el primer caso:

$$h_f = \frac{f L \psi}{g} \frac{v_s}{p} \left(\frac{1-p}{p} \frac{6}{d} \right)^2 \dots 4$$

Segundo caso:

$$h_f = \frac{f L \psi}{g} \frac{v_s}{p} \left(\frac{1-p}{p} \frac{6}{\psi d} \right)^2 \dots 5$$

Tercer caso:

$$h_f = \frac{f L \psi}{g} v_s \frac{(1-p)^2}{p} \left[\frac{6}{\psi} \sum_{i=1}^i \frac{X_i}{d_i} \right]^2 \dots 6$$

Donde:

X_i = Porcentaje de arena retenida entre 2 cedazos consecutivos en el cribado experimental.

d_i = Diámetro promedio de las partículas retenidas en estas 2 cribas.

Cuarto caso:

$$h_f = \sum_{i=1}^i \Delta h_{fi}$$

la pérdida de carga total será igual a la suma de la pérdida de carga en cada estrato. Aquí hay que considerar que la porosidad no varía en las diferentes

capas y en cada una se da que: $L_i = x_i L$; L_i = espesor de una capa.

Finalmente h_f queda:

$$h_f = \frac{f'v}{g} v_s \frac{(1-p)^2 36}{p^3 \psi^2} L \left[\sum_{i=1}^i \frac{x_i}{d_i^2} \right] \dots 7$$

Ecuación de Iwasaki:

Para determinar la penetración de las partículas en el lecho. En 1937,

Iwasaki dedujo las siguientes fórmulas:

$$-\frac{dC}{dL} = \lambda C \dots 8$$

$$\frac{d\sigma}{dt} + \frac{v}{(1-p\sigma)dL} = 0 \dots 9$$

Donde:

C = concentración volumétrica del material que entra en el filtro por unidad de volumen del mismo

L = profundidad del filtro

λ = coeficiente de proporcionalidad del filtro

t = tiempo de filtración

σ = volumen de material suspendido retenido por unidad de volumen del filtro p

p = porosidad del material depositado

v = velocidad superficial de filtración

La ecuación 8 establece la tasa de penetración de las impurezas en el filtro, la remoción de partículas es proporcional a la concentración de partículas presentes en el agua.

La ecuación 9 determina el volumen de material acumulado en el filtro igual al volumen removido de la suspensión.

Ives, de la Universidad de Londres determinó que: λ es una variable y disminuye al disminuir la porosidad y la densidad del material depositado, y propuso:

$$\lambda = \lambda_0 + c \sigma - \frac{\Phi \sigma^2}{(p - \sigma)} \quad \dots 10$$

Donde:

λ_0 , c y Φ = coeficientes experimentales

p = porosidad inicial del filtro

Sustituyendo (10) en (8)

$$-\frac{dC}{dL} = \left(\lambda_0 + c \sigma - \frac{\Phi \sigma^2}{(p - \sigma)} \right) C$$

Evaluar los coeficientes λ_0 , c y Φ no es fácil aunque existen métodos para hacerlo. λ_0 depende del mecanismo dominante de filtración, c y Φ están determinados por las características del medio filtrante.

6.6. Lavado del filtro

Al acumularse la mayor parte de las impurezas en la superficie de la arena y en capa superior de 50 mm, proliferan en la materia orgánica, nutrientes o capa biológica como ya se mencionó. La limpieza se realiza en forma sencilla, raspando y removiendo el lecho superior cada 30 ó 60 días por capas de 5 a 10 cm. Esto debe realizarse cuando la pérdida de carga se aproxima a 1.20 cm.

Del raspado se obtiene arena que se limpia aparte y se guarda para cuando la profundidad del lecho llegue a 60 cm. En ese momento, se suspende la operación y se vuelve a colocar toda la arena sacada.

Se utilizan rastrillos y chorros de agua depurada o descolmatadores. También se utiliza un eyector de agua que arroja una mezcla de agua, arena y lodo en un separador portátil, es eficaz en tiempo y dinero pero requiere mucho trabajo manual.

Una limpieza profunda hasta el nivel de la grava sólo se necesita después de un período de varios años.

Después de efectuada esta operación, el agua filtrada durante los primeros minutos debe mandarse de nuevo al influente.

6.7. Drenes

El objeto de los drenes que se colocan en el fondo del filtro es recolectar y extraer el agua filtrada, y segundo distribuir uniformemente el agua de lavado. Son elementos delicados pues si no se distribuye uniformemente desestratifican la arena y la grava, con graves consecuencias para la filtración.

Los drenes se clasifican en:

1. Tuberías perforadas:
 - a) para trabajo con grava
 - b) Para trabajo con bloques y grava (bloques Wagner)

2. Falsos fondos:
 - a) tipo Weeler
 - b) tipo Leopold
 - c) boquillas

3. Placas porosas:
 - a) bloques carborundum

Las tuberías perforadas han caído en el desuso ya que presentan severos problemas de corrosión, ya que están hechas de hierro fundido o galvanizado.

Las perforaciones representan del 0.2 al 0.33 % del área filtrante, el diámetro de 6.5 a 12.5 mm y van colocados a distancias de 15 a 20 cm centro a centro y forman 30° a cada lado de la vertical.

Los falsos fondos como el tipo Weeler son losas de concreto fundidas a 10-50 cm del fondo. Tiene orificios troncocónicos por donde pasa el agua; pueden ser también losas prefabricadas de concreto de 0.60 x 0.60 y 0.10, las cuales tienen 9 depresiones troncocónicas de 15 x 15 cm en donde van colocadas 5 esferas de 4 cm de diámetro. Se puede anclar la losa sobre soportes de concreto a 10-50 cm de altura.

El tipo Leopold consiste en bloques de arcilla vitrificada refractaria a la corrosión de 28 cm de ancho divididos en dos comportamientos, uno inferior que sirve de conducto de distribución similar al sistema de principal y laterales; otro superior que se comunica con el de abajo por un hueco de 2.54 cm. En la cara en contacto con la grava hay 90 agujeros por bloque de 3.96 mm espaciados a 3.1. cm centro a centro, de este modo se distribuye bien el agua, ya que todas las filas de agujeros van orientadas a un conducto central de repartición. Los bloques se asientan sobre mortero y las uniones se realizan con el mismo material.

Las boquillas de diversos materiales como porcelana, poliestireno y/o plástico se funden a 10-60 cm sobre el fondo del filtro se usan normalmente para lavado con aire y agua.

Las placas porosas estan compuestas de granos relativamente grandes de óxido de aluminio mezclado con cerámica y fundidos a 1200° C. Hay de varias dimensiones, 30 x 30 cm la más usual.

6.8. Tasas de filtración

Los filtros lentos de arena fueron diseñados para obtener de 0.0176 a 0.035 L/min/m² y posteriormente con la investigación sobre este aspecto fue aumentando la tasa de filtración, (sin llegar a las velocidades de la filtración rápida). Hasta ahora la tasa de filtración se considera que no debe exceder de 0.2 m/hr o de 7 a 14 m³/m²/dfa.

Gastos en un filtro lento de arena

La siguiente teoría fue establecida por M. Questierne.

Un filtro formado por granos esféricos, de igual radio, r , tendría un volumen de huecos equivalente al 22.04% del total. Formarían un mínimo de huecos donde sus centros ocupan los vértices de un triángulo de $2r$ de longitud por lado.

El flujo de agua a través del filtro no es constante. En los planos que pasan los centros de las esferas se reduce a 9.31% y en los planos tangentes llega a 45.72%. Por las características propias de los conductos formados, la velocidad de la molécula de agua varía continuamente.

Siendo q el gasto, durante la unidad de tiempo de la unidad de superficie

de un filtro vertical a 10° C de temperatura, se da que:

$$Q = q \frac{H}{h}$$

siendo h, la altura del filtro vertical y H, la altura de agua en la sección de salida.

Si $H = h + h'$ entonces:

$$Q = \frac{h+h'}{h} q = q \left(1 + \frac{h'}{h} \right)$$

La temperatura influye con un término de corrección de $x = 0.7 + 0.03t$, t = temperatura en grados centígrados, por lo tanto el caudal quedaría:

$$Q = q \frac{H}{h} (0.7 + 0.03t)$$

Si llamamos d, al diámetro convencional de arena medida en milímetros, el valor de q en veinticuatro horas sería de 1,000 d² y finalmente:

$$Q = 1000 d^2 \frac{H}{h} (0.7 + 0.03t)$$

Q es el gasto de agua filtrado en veinticuatro horas, en m³.

Ciclo de Filtraciones

Está dado por $T = Kd^n$

Donde:

T = duración en horas de dicho ciclo

d = tamaño efectivo de la arena en mm

K = constante que depende del poder colmatador del agua

$$n = 1.25$$

La pérdida de carga estable la duración de los ciclos de los filtros, ésta a su vez depende del tamaño de arena, porosidad, velocidad de filtración, así como de la cantidad de carácter de la materia suspendida en el agua. Otro factor que determina la duración de los ciclos es la calidad del agua filtrada. El mínimo de duración de los ciclos de filtración tiene lugar con agua a 10° C, el aumento de temperatura mejora la eficacia del filtro.

Los ciclos de filtración son función de la velocidad:

$$T = \frac{K}{V^{1.5}}$$

Donde:

T = duración en horas del ciclo

K₁ = coeficiente en función del poder de colmatación del agua

V = velocidad filtrante en m/h

6.9. Operación

Todos los filtros enfrentan problemas en su operación, es común hablar de bolas de barro, ruptura del lecho filtrante, carga negativa, pérdida de arena, desplazamiento de la arena, algas, vías de paso por las paredes, fugas en el filtro y perturbaciones producidas por sol, helada y viento.

Bolas de barro:

Suceden cuando el filtro no ha sido lavado adecuadamente y ha sido operado por largo tiempo. Su tamaño llega a ser de 1 a 5 cm. Se recomienda analizar periódicamente la arena filtrante y cuando se tenga el problema deberán aflojarse por lavado con aire o con chorros a presión, en otros casos sosa cáustica, cloro o sal común. En el último de los casos se debe sacar toda la grava y arena, lavarla, tamizarla y volverla a colocar mezclada con arena nueva.

Fuga de arena:

Pasa cuando las capas de grava y arena no se miden y colocan apropiadamente, así la arena pasa al sistema inferior de drenaje. La solución es obvia.

Rupturas del lecho filtrante:

Como la resistencia es menor a lo largo de las paredes de un filtro, se pierde ahí menos carga, estableciéndose por la diferencia de presión resultante conductos, grietas más o menos profundas que se llena con la materia transportada y poco a poco se van ensanchando. Para solucionar esto, se debe lavar el filtro y

embreando las paredes salpicándolas de arena para buscar una rugosidad adecuada.

Carga negativa:

Producida dentro del lecho filtrante por una diferencia de presión con la atmosférica, ocasiona un vacío parcial y entonces gases existentes en el agua salen y provocan burbujas que permiten el paso de impurezas. Para evitar esto se debe lavar el filtro a tiempo.

Algas:

La presencia de luz permite el desarrollo de estos seres vivos. Los hay de tres clases: azules (cianofíceas), verdes (clorifíceas) y pardas (feofíceas). Las primeras ricas en cal y pobres en sílice al revés de las feofíceas entre las que destacan las diatomeas. Su proliferación puede ser espectacular y arruinar las expectativas de cualquier filtro. Su eliminación puede realizarse por medio de añadir sulfato de cobre, preclorar el agua o aplicar electricidad.

Heladas:

Por otra parte, las heladas perturban el filtro al congelar el agua a tratar, esto se evita haciendo surcos en la superficie del lecho.

Viento:

El viento provoca un oleaje que puede llegar a romper la membrana biológica.

6.10. Equipo

Es indispensable para el buen manejo y funcionamiento de un filtro lento de arena los siguientes accesorios y dispositivos:

- Dispositivo de regulación de gastos
- Descolmatadores de succión o rastrillos para la limpieza del lecho filtrante
- Sistema de bombeo
- Válvulas de control (de entrada, de paso, de salida)
- Medidor de pérdida de carga
- Control turbidimétrico del efluente
- Medidor de caudales tipo Venturi
- Equipo para detección de bolas de barro, coágulos, etc.

6.11. Costos

El costo de una planta de filtración lenta esta en función de:

- 1. La calidad de la fuente de abastecimiento.**
- 2. El tamaño de la población.**
- 3. La disponibilidad de los materiales en la región.**
- 4. El costo de la mano de obra**

Los dos primeros puntos influyen en la capacidad de tratamiento de la planta.

En general la construcción de la planta será más económica si se consideran los puntos anteriores.

CAPITULO 7

EVALUACION EXPERIMENTAL DE REMOCION DE DUREZA Y SOLIDOS

DISUELTOS EN FILTROS LENTOS

- 7.1. Selección de sitios de muestreo y búsqueda de bancos de material.
- 7.2. Equipo empleado y pruebas a realizar.
- 7.3. Pruebas de campo.
 - 7.3.1. Determinación de parámetros.
 - 7.3.2. Recolección de arena y grava
- 7.4. Preservación de muestras.

TRABAJO EN LABORATORIO

- 7.5. Pruebas bacteriológicas practicadas en laboratorio y resultados.
- 7.6. Limpieza de arena y grava.
 - 7.6.1. Valores recomendados.
 - 7.6.2. Curva granulométrica.
- 7.7. Remoción de dureza.
 - 7.7.1. Selección del material (medidas) y cálculos.
 - 7.7.2. Velocidades recomendadas para filtración lenta.
 - 7.7.3. Ajuste hidráulico y experimentación.
 - 7.7.4. Resultados de pruebas de laboratorio.
 - 7.7.5. Conclusión de fase experimental.

7.1. Selección en sitios de muestreo y búsqueda de bancos de material.

Para llevar a cabo los diferentes muestreos de las posibles fuentes de abastecimiento se realizaron las investigaciones siguientes:

i. Se obtuvo el plano de aguas subterráneas F14.2 del INEGI correspondiente a la zona de Cd. Victoria, Tamaulipas.

ii. Se revisó el plano y se localizó la población. (Ejido Francisco Villa, ver apéndice 1.)

iii. Se localizaron posibles lugares de muestreo considerando:

- * Los posibles acuíferos que se encuentran en la región.
- * Los pozos que fueron estudiados en la zona y su profundidad.
- * Las características geoquímicas de las aguas subterráneas.
- * Las características geológicas y topográficas de la zona.
- * La facilidad para transportarse hasta los lugares de abastecimiento.
- * La distancia del posible abastecimiento al poblado.

Ya que se contaba con la información señalada, nos trasladamos hasta Cd. Victoria, Tamaulipas y de allí hasta la Congregación Ignacio Zaragoza; en el último lugar nos informamos sobre las personas que tenían pozos en explotación y nos entrevistamos con ellas. Paralelamente a esta actividad indagamos sobre los posibles lugares que podrían servirnos como banco de material.

Considerando lo anterior se decidió por tomar las muestras de tres lugares:

1. Rancho "El Ave":

Localizado a 1.5. Km al suroeste del Ejido Francisco Villa y a 2 Km de las márgenes del río Guayalejo.

2. Arroyo "El Mimbral":

Localizado a 4 Km al sureste del Ejido Francisco Villa y a 5 Km al este del río Guayalejo.

3. Estación Ignacio Zaragoza:

La cual cuenta con una red de distribución de agua que se abastece de agua subterránea, sin cloración y cuyo sistema de distribución carece de un mantenimiento adecuado. Se localiza a 1.5 Km al Noreste del Ejido Francisco Villa, dividiendo a los dos poblados el río Guayalejo.

Por otra parte, con respecto al lugar para suministrar arena y grava par la construcción del tanque y del filtro se seleccionó al arroyo del Mimbral ya que la otra fuente el río Guayalejo presentaba principalmente grava de tamaño mayor y mucha vegetación próxima a su cauce, considerando también que el arroyo se encuentra seco todo el año.

7.2. Equipo empleado y pruebas a realizar

i. Equipo empleado:

- * Termómetro.**
- * Potenciómetro.**
- * Conductímetro.**
- * Bureta para la obtención de dureza de calcio y total.**

ii. Pruebas a realizar:

- * Obtención a temperaturas del agua y ambiental.**
- * Evaluación del pH.**
- * Conductividad (para obtener indirectamente sólidos totales).**
- * Determinación de la dureza de calcio y total.**

7.3. Pruebas de Campo

7.3.1. Determinación de parámetros

1. Rancho "El Ave"

- **Uso del Suelo:**

Principalmente agrícola, aunque en algunos meses se cuenta con ganado vacuno.

- **Características del pozo:**

- a) Profundidad a 12 m
- b) Espejo de agua a 9 m
- c) Diámetro de 1 a 1.20 m
- d) Revestimiento de concreto de 3 a 4 m de profundidad, y llega hasta una cubierta protectora de 0.50 m de altura
- e) El pozo cuenta con una base circundante de impermeabilización (de concreto) de 1m
- f) El pozo cuenta con un techo de palma que evita que el agua pluvial entre en el pozo

• Pruebas realizadas	Resultados
a) Temperatura ambiente	30° C
b) Temperatura del agua	26° C
c) pH	6.65
d) Conductivimetro	0.8x1000 μ Mohs/cm
e) Dureza total	260 mg/L

f) Dureza de Calcio 240 mg/L

* Observaciones:

- a) Se encontraron alambres dañados por la corrosión a una altura de 1.80 m, sobre el inicio del pozo.
- b) Se aprecia fácilmente los estratos de materiales granulares gruesos después de la camisa de concreto.
- c) Las tuberías utilizadas para la extracción son de 2 ½ plg.

2. Arroyo "El Mimbral"

* Uso del Suelo:

En los alrededores, principalmente ganadero. El terreno es muy irregular topográficamente.

* Características del pozo:

- a) Profundidad 10 m
- b) Espejo de agua 8 m
- c) El pozo está revestido con madera, y sólo cuenta con protección de troncos y alambres que lo circulan.
- d) No cuenta con protección para evitar contaminación de aguas superficiales y lluvia.
- e) Se encuentra a 50 m de la zona de escurrimiento.
- f) Diámetro 1.20 m aproximadamente.

* Pruebas realizadas	Resultados
a) Temperatura ambiente	32° C
b) Temperatura del agua	26° C
c) pH	6.75
d) Conductivimetro	0.70x1000 μ Mohs/cm
e) Dureza de calcio	230 mg/L
f) Dureza total	250 mg/L

*** Observaciones**

Ninguna

3. Estación Ignacio Zaragoza

*** Uso del Suelo:**

En los alrededores, principalmente ganadero; aunque existen huertas cuyo producto es la naranja.

*** Características del pozo:**

- | | |
|---|--------|
| a) Profundidad | 9 m |
| b) Espejo de agua | 6 m |
| c) Protección de concreto mínima, y posible contaminación de aguas superficiales. | |
| d) Cuenta con camisa de concreto. | |
| e) Diámetro aproximado | 1.50 m |

* Pruebas realizadas	Resultados
a) Temperatura ambiental	30° C
b) Temperatura del agua	28° C
c) pH	6.8
d) Conductividad	1.2x1000 μ Mohs/cm
e) Dureza de Calcio	370 mg/L
f) Dureza total	130 mg/L
* Observaciones	

Incrustaciones en todas las tuberías.

7.3.2. Recolección de arena y grava

En el arroyo del Mimbral se efectuó la recolección de material granular; el arroyo tiene una longitud aproximada de 7 Km y anchura de 30 hasta 50 m. Generalmente el arroyo se encuentra seco todo el año, solamente en épocas de lluvia con precipitaciones muy altas logra transportar poca agua (una vez cada tres años).

Para la selección del sitio, se pensó en una sección que no fuera la del cauce principal. Se localizó un lugar de excavación, de donde los lugareños extraían la arena para realizar algunas obras de albañilería. De ahí se obtuvieron 9 Kg de arena. Para poder conseguir la grava (roca caliza) salimos del cauce del arroyo y localizamos algunos tipos de rocas calizas que formaban diferentes estratos, de ahí se fracturaron 5 ó 6 Kg del material, suficiente para nuestros propósitos.

7.4. Preservación de muestras

Para poder aplicar esta operación se efectuaron los siguientes pasos:

1. Se esterilizaron (durante 30 minutos de ebullición en baño maría) 3 frascos de plástico de 1 litro de capacidad.
2. En el campo se enjuagaron dos veces cada frasco con el agua de la posible fuente y a la tercera vez se llenó el frasco, se marcó con una etiqueta y se selló con una cinta aislante para evitar contacto con el medio que lo rodea.
3. Después de la toma de cada muestra, los frascos fueron colocados en una hilera la cual tenía una temperatura que oscilaba entre 3 y 4 ° C.
4. Posteriormente fue sellada la hielera con cinta aislante para evitar cambios de temperatura.
5. Traslado en autobús a Cd. Victoria, Tamaulipas, y a México, D.F. 24 horas de la toma de muestras.

7.5. Pruebas bacteriológicas practicadas en el laboratorio y resultados

Análisis de Coliformes totales Filtro-Membrana

Determinación de coliformes fecales:

Se realizaron, por duplicado, la determinación presuntiva de la presencia de coliformes fecales sobre las muestras de agua de pozo, utilizando el método de filtro-membrana con caldo de cultivo MF-Endo (Métodos Estandar, 15ª Edición, 1981).

Conclusión:

La prueba presuntiva de coliformes fecales, resultó negativo.

* En el laboratorio de Microbiología de la sección de Ingeniería Ambiental de la DEPTI

7.6. Limpieza de arena y grava

7.6.1. Valores recomendados

El trabajo de limpieza del material se realizó en los laboratorios de la DEPFI y la secuencia de actividades fué la siguiente:

1. En un recipiente de capacidad de 2 litros se le agregó un litro de agua, a continuación 150 ml de ácido clorhídrico.
2. A continuación se le agregaron aproximadamente 250 g de arena y esperamos la reacción y la eliminación de la materia orgánica.
3. La operación se repitió hasta limpiar los 8.5 Kg de arena conseguidos on campo.
4. Después se realizó la operación de secado colocando la arena en un horno a una temperatura de 105° C durante 24 horas.

Por otra parte la grava fue triturada a tamaños que no excedieran los 25 mm, posteriormente se llevó a cabo el lavado con agua quitando la materia orgánica que tenía incrustada. El material fue remojado un día en el agua para facilitar la remoción.

7.6.2. Curva Granulométrica

Clasificación de la porción gruesa

(Basado en los criterios que establece el manual de obras civiles de la CFE, B.2.2.

Tomo III).

Se trata de un suelo grueso ya que más del 50% quedó retenido en la malla N° 200. Siendo un suelo arena pues más del 50% pasó la malla N° 4 y menos de 5% pasa N° 200.

$$C_u = \frac{0.9}{0.37} = 2.43$$

$$C_c = \frac{0.6^2}{0.9 \times 0.37} = 1.15$$

- a) % gruesos > % finos
- b) % grava < % de arena
- c) $C_u < 6$; $3 > C_c > 1$

Por lo tanto, se trata de un SP, arena mal graduada, es decir, predominio de un tamaño o intervalo de tamaños. Arenas con grava con pocos finos. No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW.

De acuerdo con eso se determinan las propiedades mecánicas siguientes:

- Semipermeable a permeable
- Resistencia a la tubificación, baja a muy baja.
- Alta resistencia al corte.

- **Baja compresibilidad siempre y cuando hayan sido colocados y compactados adecuadamente; su compactación es fundamental.**
- **No es susceptible al agrietamiento.**
- **No es susceptible a la licuación cuando están bien compactados.**
- **Su manejabilidad es de buena a correcta.**

7.6.1. Valores recomendados

Los tamaños de partícula recomendados para filtración lenta (según Hofkens) varían desde 0.50 mm hasta 25 mm dependiendo de las características de las fuente.

7.6.2. Curva Granulométrica



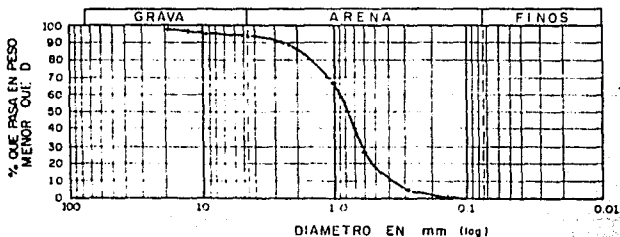
U. N. A. M.
Facultad de Ingeniería
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CLASIFICACION DE SUELOS
GRANULOMETRIA POR MALLAS

FORMATO N° 2

OBRA <u>Planta de Tratamiento</u> LOCALIZACION <u>Riido Francisco Villa, Tama.</u> ENSAYE No. <u>1</u> SONDEO No. _____ MUESTRA No. <u>1</u> PROF. <u>Superficial</u> DESCRIPCION _____ FECHA <u>Mayo-92</u> OPERADOR <u>Jaime Z. Gutiérrez Lopezeta</u> CALCULO <u>V. Hugo Gómez Cisneros</u>	PESO DE LA MUESTRA (g) <u>7800 g</u> RECIPENTE No. PARA OBTENER (g) _____ PESO RECIP + SUELO HÚMEDO (g) _____ PESO RECIP + SUELO SECO (g) _____ PESO AGUA (g) _____ PESO RECIPiente (g) _____ PESO DE SUELO SECO (g) _____ W% = _____
---	--

MALLA N°	ABERTURA mm	PESO MALLA	PESO MALLA + SUELO (g)	PESO SUELO RET.	PCT EN VIDO PARCIAL		% QUE PESA MENOR Q. D.	
					%	%	%	%
3"	76.20							
2"	50.80							
1 1/2"	38.10							
1"	25.40							
3/4"	19.05	745	1271	850	1.089	98.911		
1/2"	12.70	751	4606.11	10094	1.274	97.617		
3/8"	9.52	610	3746.70	8670	1.111	96.506		
4	4.76	444	5123.50	2150	2.388	93.718		
8	2.38	387	4673.00	341.00	4.425	89.673		
15	1.00	534	7561.00	1687.00	21.628	68.065		
30	0.59	557	7061.00	3134.00	40.177	27.886		
60	0.297	397	5478.00	1770.00	22.622	42.174		
100	0.149	260	4328.00	266.00	4.671	0.516		
200	0.074	355	3724.00	21.00	0.269	0.226		
FINOS		28381	3139.67	17.68	0.227	0.019		
SUMA				3796.62	49.181			

$>3" =$ _____ %
 $D = 3.494$ %
 $S = 96.260$ %
 $F = 0.227$ %
 $D_{60} = 0.37$ mm
 $D_{50} = 0.62$ mm
 $D_{30} = 0.90$ mm
 $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.90}{0.37} = 2.43$
 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \cdot D_{10}} = \frac{(0.62)^2}{0.90 \cdot 0.37} = 1.15$



CLASIFICACION DE LA PORCION GRUESA: _____

OBSERVACIONES: _____

7.7. Remoción de Dureza

7.7.1. Selección del tamaño del material y colocación del material de los filtros

Según los diferentes autores consultados se decidió utilizar arena de 1 mm y 2.4 mm. El tamaño de la grava variaba desde 5 hasta 25 mm.

1. Se determinó el uso de tres filtros con diferentes porcentajes de arena y grava (caliza) para conseguir la remoción de dureza.

2. Los filtros tendrían los porcentajes que a continuación se mencionan:

Filtro 1	Arena 33%	Grava 66%
Filtro 2	Arena 50%	Grava 50%
Filtro 3	Arena 66%	Grava 33%

3. Características del filtro:

- * Altura del cilindro 30 cm
- * Diámetro 4.75 cm
- * Espesor 2 mm

El cilindro contaba con los siguientes aditamentos:

1. Un tapón de hule con una abertura de 0.7 cm de diámetro.
2. A la abertura se le conectó una manguera de látex de 7 cm de longitud.
3. Para aforar el gasto fue conectada una pequeña llave Mohr en el tubo de

látex. Para la colocación del material se afectaron estas operaciones.

a) Se instaló una capa de algodón sobre la base de hule perforada.

b) Ya ubicado el algodón, arriba de éste se agregó una cantidad de arena antes prevista, después se colocó la cantidad de grava requerida según el cilindro, y sobre la grava otra capa de algodón; aunque se dejó libre alrededor de 2 cm, encima de espacio libre para tener un espejo de agua constante.

c) Finalmente se añadía manualmente una cantidad de agua ya prevista cada unidad de tiempo establecida, tratando con ello que el flujo fuera constante.

7.7.2. Velocidad recomendada para filtración lenta y cálculos

Intervalos de velocidad recomendadas para filtración lenta para comunidades rurales, según N.J.D Graham en su libro "Slow Sand Filtration".

Velocidad para filtros 0.10 - 0.20 m/h.

Por lo que proponemos:

Velocidad máxima = 0.20 m/h

Velocidad media máxima = 0.16 m/h

Velocidad media mínima = 0.13 m/h

Velocidad mínima = 0.10 m/h

Realizando los cálculos requeridos para la experimentación:

Cálculo del área del cilindro

$$\text{Diámetro interno} = 0.0475 \text{ m}$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (0.0475)^2}{4} = 0.00177 \text{ m}^2$$

Calculando los gastos que se requerirán para la experimentación:

$$Q_{\text{máximo}} = 0.001772 \times 0.20 = 0.000354 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{medio máximo}} = 0.001772 \times 0.16 = 0.0002941 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{medio mínimo}} = 0.001772 \times 0.13 = 0.00023567 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{mínimo}} = 0.001772 \times 0.10 = 0.0001772 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para control en el laboratorio, estos gastos fueron:

$$Q_{\text{máximo}} = 0.0059 \text{ L/min} \approx 6 \text{ ml/min} = 30 \text{ ml/5 min}$$

$$Q_{\text{medio máximo}} = 0.0049 \text{ L/min} \approx 5 \text{ ml/min} = 25 \text{ ml/5 min}$$

$$Q_{\text{medio mínimo}} = 0.0039 \text{ L/min} \approx 4 \text{ ml/min} = 20 \text{ ml/5 min}$$

$$Q_{\text{mínimo}} = 0.0029 \text{ L/min} \approx 3 \text{ ml/min} = 15 \text{ ml/5 min}$$

Que fueron los valores propuestos para trabajar en la fase de experimentación.

7.7.3. Ajuste hidráulico y experimentación

El ajuste hidráulico consistió en lograr aforar adecuadamente los gastos de salida del sistema. Para poder efectuar esta operación se utilizó un aditamento que permitiera o evitara la salida del agua, por lo que se colocó un tipo de llave que nos auxiliaría en regular la salida del agua según los gastos ya

preestablecido. Los otros aditamentos usados fueron: matraz que recibirá el agua y un cronómetro para registrar los tiempos transcurridos para el llenado del matraz.

Preparación del agua sintética:

La forma de preparar el agua sintética fue la siguiente:

1. Se consiguieron dos matraces con capacidad de 4 litros, a los cuales se les agregó agua destilada.
2. El agua destilada del recipiente se le agregaron cerca de 2 gramos de carbonato de calcio (CaCO_3) y 0.5 gramos de hidróxido de calcio.
3. Posteriormente se agitó el recipiente. Sin embargo, ya que este tipo de sales son poco solubles se procedió a calentar el agua para que las sales se integraran al fluido y no se precipitaran.
4. Al encontrarse el agua hirviendo se llevó a cabo la prueba de dureza de calcio y se obtuvieron los valores de 270 mg/L y 340 mg/L. Siendo en ambos casos los valores de entrada del sistema.

Por otra parte, durante la experimentación se consideró realizar tres pruebas para cada gasto propuesto.

Los resultados se muestran en las siguientes tablas:

EXPERIMENTACION

$Q_{\text{máximo}} = 30 \text{ ml/5 min}$

1ª CORRIDA:

FILTRO	VALOR DE ENTRADA	VALOR DE SALIDA	EF. SISTEMA
1	270 mg/L	60 mg/L	0.77
2	270 mg/L	80 mg/L	0.70
3	270 mg/L	100 mg/L	0.63

2ª CORRIDA:

FILTRO	VALOR DE ENTRADA	VALOR DE SALIDA	EF. SISTEMA
1	270 mg/L	50 mg/L	0.82
2	270 mg/L	60 mg/L	0.78
3	270 mg/L	70 mg/L	0.74

3ª CORRIDA:

FILTRO	VALOR DE ENTRADA	VALOR DE SALIDA	EF. SISTEMA
1	270 mg/L	50 mg/L	0.82
2	270 mg/L	65 mg/L	0.76
3	270 mg/L	65 mg/L	0.76

EXPERIMENTACION

Qmedio máximo = 25 ml/5 min

1° CORRIDA:

FILTRO	VALOR DE ENTRADA	VALOR DE SALIDA	EF. SISTEMA
1	340 mg/L	50 mg/L	0.85
2	340 mg/L	45 mg/L	0.87
3	340 mg/L	50 mg/L	0.85

2° CORRIDA:

FILTRO	VALOR DE ENTRADA	VALOR DE SALIDA	EF. SISTEMA
1	340 mg/L	40 mg/L	0.88
2	340 mg/L	45 mg/L	0.87
3	340 mg/L	50 mg/L	0.85

3° CORRIDA:

FILTRO	VALOR DE ENTRADA	VALOR DE SALIDA	EF. SISTEMA
1	340 mg/L	40 mg/L	0.88
2	340 mg/L	40 mg/L	0.88
3	340 mg/L	55 mg/L	0.84

EXPERIMENTACION

Qmedio mínimo = 20 ml/5 min

1ª CORRIDA:

FILTRO	VALOR DE ENTRADA	VALOR DE SALIDA	EF. SISTEMA
1	270 mg/L	80 mg/L	0.70
2	270 mg/L	45 mg/L	0.83
3	270 mg/L	50 mg/L	0.81

2ª CORRIDA:

FILTRO	VALOR DE ENTRADA	VALOR DE SALIDA	EF. SISTEMA
1	270 mg/L	60 mg/L	0.77
2	270 mg/L	40 mg/L	0.85
3	270 mg/L	50 mg/L	0.81

3ª CORRIDA:

FILTRO	VALOR DE ENTRADA	VALOR DE SALIDA	EF. SISTEMA
1	270 mg/L	70 mg/L	0.74
2	270 mg/L	40 mg/L	0.85
3	270 mg/L	50 mg/L	0.81

EXPERIMENTACION

Qmínimo = 15 ml/5 min

1ª CORRIDA:

FILTRO	VALOR DE ENTRADA	VALOR DE SALIDA	EF. SISTEMA
1	340 mg/L	30 mg/L	0.91
2	340 mg/L	35 mg/L	0.89
3	340 mg/L	40 mg/L	0.88

2ª CORRIDA:

FILTRO	VALOR DE ENTRADA	VALOR DE SALIDA	EF. SISTEMA
1	340 mg/L	30 mg/L	0.91
2	340 mg/L	30 mg/L	0.91
3	340 mg/L	45 mg/L	0.87

3ª CORRIDA:

FILTRO	VALOR DE ENTRADA	VALOR DE SALIDA	EF. SISTEMA
1	340 mg/L	30 mg/L	0.91
2	340 mg/L	35 mg/L	0.89
3	340 mg/L	50 mg/L	0.85

VALORES PROMEDIO FINALES

(Valores Promedio de las 3 Corridas)

$Q_{\text{máximo}} = 30 \text{ ml/5 min}$

FILTRO	VALOR DE ENTRADA	VALOR DE SALIDA	EF. SISTEMA
1	270 mg/L	53 mg/L	0.80
2	270 mg/L	68 mg/L	0.75
3	270 mg/L	78 mg/L	0.71

$Q_{\text{medio máximo}} = 25 \text{ ml/5 min}$

FILTRO	VALOR DE ENTRADA	VALOR DE SALIDA	EF. SISTEMA
1	340 mg/L	43 mg/L	0.87
2	340 mg/L	42 mg/L	0.87
3	340 mg/L	52 mg/L	0.85

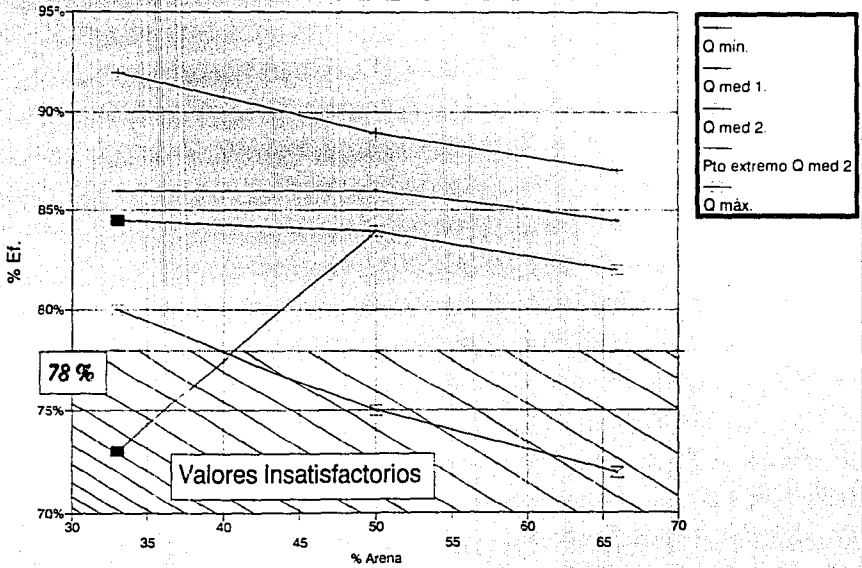
$Q_{\text{medio mínimo}} = 20 \text{ ml/5 min}$

FILTRO	VALOR DE ENTRADA	VALOR DE SALIDA	EF. SISTEMA
1	270 mg/L	70 mg/L	0.74
2	270 mg/L	42 mg/L	0.84
3	270 mg/L	50 mg/L	0.81

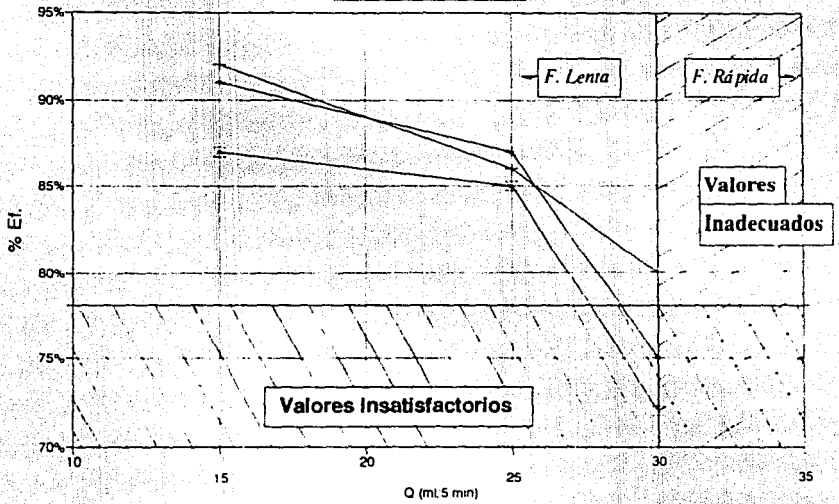
$Q_{\text{mínimo}} = 15 \text{ ml/5 min}$

FILTRO	VALOR DE ENTRADA	VALOR DE SALIDA	EF. SISTEMA
1	340 mg/L	30 mg/L	0.91
2	340 mg/L	33 mg/L	0.90
3	340 mg/L	45 mg/L	0.87

Gráfica No. 1
% Ef. vs. % Arena



Gráfica No. 2
% Ef. vs Gasto.



F1 — F2 — F3

7.7.4. Resultados

Después de concluir la experimentación, se materializaron los resultados en las gráficas que compararon EFICIENCIA EN LA REMOCION (%) VS CANTIDAD DE ARENA (%) Y EFICIENCIA EN LA REMOCION VS GASTOS DEL SISTEMA.

Las dos gráficas se muestran a continuación:

Gráfica 1:

Ef. de Remoción vs Cantidad de Arena

Gráfica 2:

Ef. de Remoción vs Gastos del Sistema

La dureza recomendada para el diseño será 75 mg/L.

Eficiencia mínima requerida:

Ef. = $\frac{\text{Dureza de Entrada} - \text{Dureza de Diseño}}{\text{Dureza de Entrada}}$

7.7.5. Conclusiones

Para observar claramente los resultados que se consiguieron en la experimentación, se realizaron dos gráficas en las cuales son comparados los

porcentajes de eficiencia en la remoción contra los porcentajes de arena utilizada y los diferentes gastos con los que se trabajaron. Sin embargo, a las gráficas obtenidas se les debe comparar contra un porcentaje mínimo de eficiencia de remoción, para elegir adecuadamente en la solución del problema.

Análisis de los resultados obtenidos en las gráficas:

Gráfica 1:

1. La mayor eficiencia en la remoción se obtuvo para el gasto mínimo, esto se debe a dos factores:

a) El tiempo dado para que el agua filtrara através del medio poroso y la dureza de calcio reaccionara con la roca caliza y se precipitara sobre la arena.

b) La eficiencia de remoción fue superior en los filtros que contenían mayor porcentaje de roca caliza.

2. En general, los filtros que trabajaron con las velocidades mínima (0.10 m/h) y media (0.13 y 0.16 m/h) lograron cumplir con la dureza de calcio mínima requerida.

3. Por otra parte, cuando se experimentó con el gasto máximo la eficiencia de remoción de dureza de calcio fue del 80% en el mejor de los casos.

Gráfica 2:

- 1. La más alta remoción (92%) de dureza de calcio se logró para el filtro 1, aunque fue disminuyendo la eficiencia conforme se aumentó la velocidad.**
- 2. Los dos filtros restantes consiguieron una eficiencia de remoción de aproximadamente el 85%; disminuyendo la eficiencia cuando se aumentó el gasto máximo.**

CAPITULO 8

EJEMPLO DE LA APLICACION EN LA CONGREGACION

"FRANCISCO VILLA" (TAMAULIPAS)

- 8.1. Población de Proyecto y Dotación elegida**
- 8.2. Recomendaciones para el pozo**
- 8.3. Diseño conceptual del tanque de regularización**
- 8.4. Diseño conceptual de la tubería**
- 8.5. Diseño conceptual del tanque de filtración lenta**
- 8.6. Recomendaciones para el Sistema de Bombeo**
- 8.7. Red de Distribución e Hidrantes**
- 8.8. Perfil de la planta**

8.1. Población de Proyecto

Al aplicar el Método Geométrico para el cálculo de poblaciones, se determinó que para el año 2010, se tendrá una población de 554 habitantes, por lo que será considerada como población de proyecto.

Es importante mencionar que para elegir la dotación por habitante se consideró lo siguiente:

- En la población propuesta no existe en la actualidad algún sistema de potabilización de agua.
- Se busca proporcionar la cantidad de agua para resolver los problemas básicos de la población como son: el beber, preparar alimentos, aseo personal y lavado de utensilios y ropa.
- Aproximadamente el 80% de las enfermedades en el mundo están relacionadas con la mala calidad del agua de bebida y contacto con el agua residual.
- El utilizar una dotación mayor de 60 L/hab/día ocasionaría que se incrementaran los costos del proyecto, en un lugar donde la población no cuenta con recursos económicos suficientes.

- El proporcionar una dotación mayor a la mencionada nos llevaría a tener que instalar sistema de alcantarillado o de letrinas interconectadas para evitar enfermedades relacionadas con el agua residual.

Por lo anteriormente señalado se decidió otorgar 45 L/hab/día, entonces la cantidad de agua que se necesitará diariamente será:

$$Q_{\text{medio}} = 45 \text{ L/hab/día} \times 554 \text{ hab} = 24930 \text{ L/día}$$

Que transformado a $\text{m}^3/\text{día}$ son $25 \text{ m}^3/\text{día}$.

8.2. Características del pozo

- 1. Tendrá una profundidad aproximada de 15 m.**
- 2. El diámetro recomendado será de 1 a 1.50 m.**
- 3. El ademe de concreto deberá tener una profundidad mínima de revestimiento de 3 m.**
- 4. Se recomienda colocar una malla de acero después del adernado, con la condición de que sea la graduación menor que el del material encontrado en el acuífero, esto con la intención de evitar acumulación de material en el fondo del pozo.**
- 5. Es importante colocar una base de concreto que proteja al pozo de escurrimientos superficiales (largo 3 m, y ancho 3 m). La base contará con un espesor mínimo de 0.15 m.**
- 6. Se recomienda un elemento de losa que proteja al pozo de las precipitaciones pluviales. Fig. 8.1.**

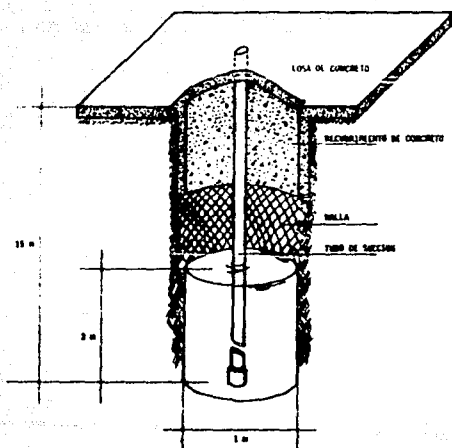


FIG. 8-1

8.3. Diseño conceptual del tanque de regularización

Generalmente, para el diseño del tanque de regularización es necesario diseñar con el gasto máximo diario (QMD).

$$QMH = CVH \times Q_m = 1.2 Q_m = 30 \text{ m}^3/\text{día}$$

De la anterior operación se deduce que será necesario tener un tanque con capacidad de 30 m^3 , por lo que se propondrá un tanque que tenga las siguientes características (Ver Fig. 8.2.)

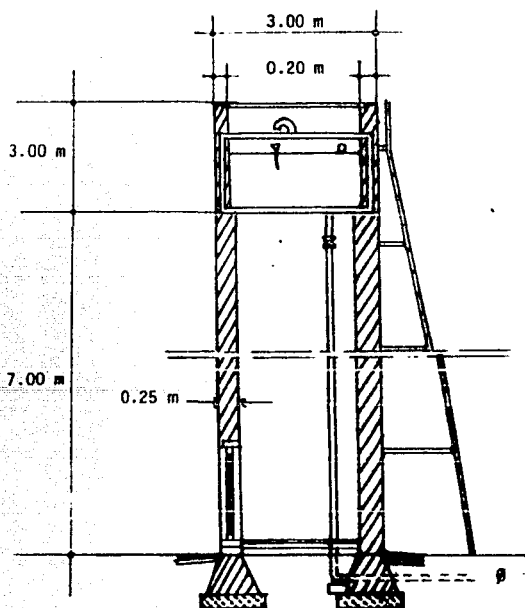


FIG 8.2

- **Su forma será cúbica y medirá de lado 3 m.**
- **Se recomienda que sea de concreto reforzado y el espesor de sus paredes sea de 20 cm.**
- **Que tenga una altura mínima de 10 m hasta el máximo nivel del agua.**
- **Se buscará que la altura del tanque sea suficiente para que nos permita efectuar la distribución por gravedad.**

8.4. Diseño conceptual de la tubería

Para lograr un diseño adecuado se debe considerar:

- 1. Las características de los materiales de la tubería y su costo.**
- 2. La longitud total de este sistema.**
- 3. Las características del agua a transportar**
- 4. Se requiere una tubería que sea durable y funcional.**

Al considerar que para el proceso de extracción y bombeo se requieren 70 m (aproximadamente) de una tubería de acero nueva, la cual estará en función del sistema.

Para la distribución se usará 400 m de tubería de acero nueva, y cuyo diámetro estará en función de los cálculos correspondientes.

8.5. Diseño del tanque de Filtración lenta

Para poder dimensionar este trabajo se requiere hacer las subsiguientes consideraciones:

1. El volumen diario con que cuenta el tanque de regularización es de 25 m³.
2. El llenado del tanque por bombeo se puede realizar en 3 horas.
3. Se debe considerar un tiempo de retención adecuado para evitar elevar costos en el tanque de filtración lenta.

Considerando lo anterior se ejecutarán los cálculos que se muestran a continuación:

$$\frac{25 \text{ m}^3}{\text{día}} \div \frac{3 \text{ hr}}{\text{día}} = 8.33 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Por ende, 8.33 m³/hr serán enviados al filtro lento.

Ahora, si se toma en cuenta el tiempo de retención, éste puede variar de 0.5 hasta 2 horas, pero si se aumenta el tiempo de retención tendremos un tanque de filtración de mayores dimensiones y considerando que el agua disponible es en general de buena calidad, y sólo hay que remover dureza utilizando el valor de retención de 0.5 horas (30 minutos), tendremos:

Volumen total de la planta de filtración lenta:

De acuerdo con una de las conclusiones del capítulo anterior en el que el sistema más eficiente de remoción se consiguió para el filtro que contenía 66% Grava y 33% Arena. Los volúmenes necesarios del material son:

$$\text{Vol. Total} \times \% \text{ Grava} = 4.17 \text{ m}^3 \times 0.66 = 2.80 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Total} \times \% \text{ Arena} = 4.17 \text{ m}^3 \times 0.34 = 1.50 \text{ m}^3$$

Volumen requerido de Grava: 2.80 m³

Volumen requerido de Arena: 1.40 m³

Finalmente las dimensiones del tanque de filtración serán:

Altura 1.50 m

Largo 2.80 m

Ancho 1.50 m

(Ver Fig. 8.4.)

La pared de bajofondos que divide la parte de la arena y grava tiene estas características:

1. Altura de 1.50 m.

2. Aberturas de forma cuadrada de 30 cm de lado (serán preferentemente 5 aberturas).
3. El largo será de 2.80 m.
4. Los bajofondos serán cubiertos por una malla menor a la granulometría de la arena.

La pared de bajofondos sería como se muestra en la Fig. 8.5.

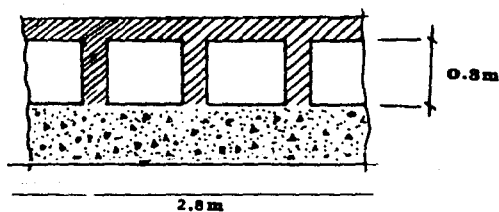


fig. 8.5

Considerando también la entrada y salida al sistema, tendremos la sección en planta. (Fig. 8.6.)

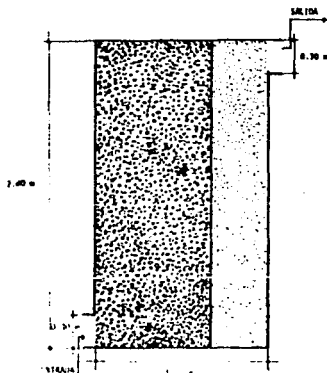


fig. 8.6

En general, se recomienda que las paredes y la base del tanque sean de concreto reforzado de 0.20 m de espesor y tengan una cimentación adecuada considerando las características topográficas del terreno.

8.6. Recomendaciones para el Sistema de Bombeo

Para elegir correctamente la bomba adecuada para esta planta se debe considerar:

- **La altura hasta la que se debe bombear el agua.**
- **La longitud de la tubería de conducción y el material de construcción.**
- **Considerar las curvas características de las posibles bombas hidráulicas y elegir adecuadamente, considerando los cálculos realizados.**
- **Revisar los lugares donde es necesario la colocación de equipos especiales (válvulas, codos, etc.)**
- **El diseño del sistema de bombeo escapa a los alcances de la tesis.**

8.7. Red de Distribución e Hidrantes

En este punto se debe considerar:

- **La obra de abastecimiento y potabilización se encontrará preferentemente a una distancia mínima del poblado, con la finalidad de evitar que el costo del proyecto se vea incrementado.**
- **La longitud máxima de la red de distribución será de 400 m, con la intención de economizar en los costos.**
- **Se preparará a la gente para que se desplace a los lugares de suministro, a distancias no mayores a las recomendadas por organismos internacionales de saneamiento, esto es, no más de 200 metros totales.**
- **El diámetro de la red de distribución se deberá elegir optimizando el sistema mediante los cálculos correspondientes.**
- **Se colocarán como máximo 4 hidrantes en la población. (Ver Fig. 8.7.)**

DEBIDO DE POLICACION APERTURA POR CADA: 30 PERSONAS.

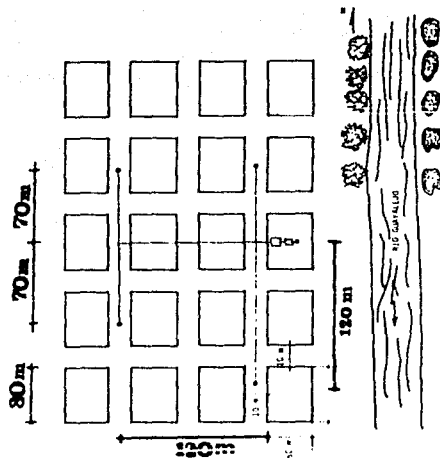
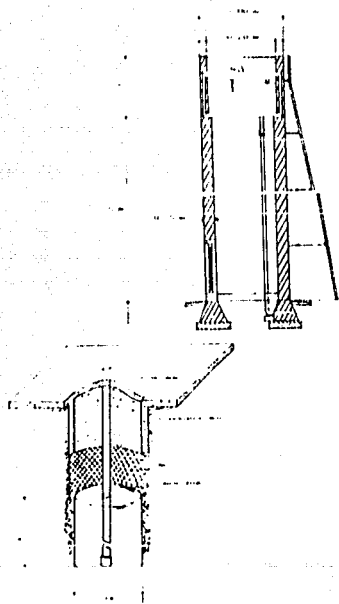


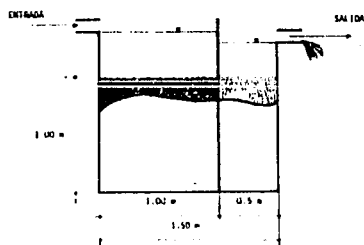
fig. 8.7

8.8. Perfil de la Planta



**Pozo
de
extracción**

**Tanque
de
regularización**



**Tanque
de
filtración**

CAPITULO 9

CONCLUSIONES

1. Se debe tener cuidado en no contaminar el acuífero y de no sobreexplotarlo. La calidad de la fuente es de suma importancia sobre los procesos de tratamiento subsecuentes.
2. La filtración lenta es una excelente opción para el abastecimiento de agua potable en zonas rurales debido a la fácil disponibilidad de materiales, bajo mantenimiento y a la alta eficiencia en la remoción de impurezas (dureza y turbiedad).
3. La reducción de enfermedades de orden sanitario e higiénico es notable después de la instalación de estos filtros.
4. Este sistema de abastecimiento de agua va de acuerdo con la política de dotar de agua a la nación.
5. Debido a sus características, los filtros lentos pueden encontrar una

aplicación en instalaciones modernas de tratamiento de aguas residuales.

6. Los filtros lentos son fáciles de operar, no se requiere personal especializado.

7. Los filtros lentos son de fácil diseño y construcción.

8. La filtración lenta puede abrir el camino a la investigación, en nuestro país, en esta área de las plantas potabilizadoras, y generar nuestra propia tecnología. Ayuda también a una mejor utilización de nuestros recursos.

9. Nos aleja definitivamente del concepto tradicional de usar "diseños paquete" para todas las poblaciones, y nos acerca al diseño específico de una solución para cada problema en particular.

10. Las instalaciones construídas anteriormente siguen funcionando, lo que da prueba de la durabilidad y confiabilidad del sistema.

11. Esta planta potabilizadora debe acompañarse de una campaña de dotación de fosas sépticas para evitar la contingencia de contaminación biológica por la factible inadecuada disposición de aguas residuales.

12. Se deben igualmente realizar campañas de concientización sobre el aprovechamiento del agua. A su vez, campañas sobre la higiene y la salud.

BIBLIOGRAFIA

LIBROS Y REPORTES

1. Enrique César Valdez (1991) "Apuntes de abastecimiento de agua potable". Facultad de Ingeniería, UNAM.
2. O.P.S. (1987) "Guías para la calidad del agua potable". Vol. 2. Editado por OPS.
3. J. Paz Moroto, J. Ma. Paz Castañé (1971) "Abastecimientos de agua potable". Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
4. E. Custodio, M.R. Llamas (1992) "Hidrología subterránea". Editorial Omega.
5. AWWA (1971) "El agua, su calidad y tratamiento". Editado por el Centro Regional de Ayuda Técnica.
6. Federico Torre Anaya (1992) "Estudio de comunidad: Villa de Macultepec, Tabasco". Reporte.

7. Steel Ernest W. (1981) "Abastecimiento de agua y alcantarillado". Editorial Gustavo Gili.

8. Robert L. Sanks (1975) "Water Treat Plant Design". Editorial Ann Arbor Science.

9. N.J.D. Graham (1988) "Slow sand filtration". Editorial John Wiley and Sons.

10. E.H. Hofkens (1987) "Small Community Water Supplies". Editado por E.H. Hofkens.

11. W.J. Weber Jr. (1979) "Control de la calidad del agua". Editorial Reverté, S.A.

12. G.M. Fair, J.C. Geyer, D.A. Okun (1974) "Abastecimiento y remoción de aguas residuales". Vol. 1. Editorial LIMUSA.

13. G.M. Fair, J.C. Geyer, D.A. Okun (1974) "Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales". Vol. 2. Editorial LIMUSA.

14. Jorge Arboleda V., Fernando Vargas (1969) "Manual de Tratamiento de aguas potables". Editado por Programa de Educación de Ingeniería Sanitaria, Venezuela 6400.

15. J. Paz Moroto, J. Ma. Paz Castañé (1971) **"Abastecimiento de aguas, depuración, exploración y legislación"**. Escuela Técnica Superior de Ingenieros, Canales y Puertos.

16. James M. Montgomery (1985) **"Water treatment principles and design"**.
A. Wiley-Interscience Publication.

ARTICULOS

1. Ing. Ignacio Villela Beltrán, (1989) "Chapala patrimonio de los mexicanos". Revista Agua Potable, Vol. 4 N° 56, Págs. 27-30.
2. Ernesto Espino de la O. (1990) "Proceso de potabilización de aguas con contaminación orgánica". Revista Agua Potable, Vol. 5 N° 63, Págs. 24-25.
3. Comisión Nacional del Agua (1990) "Lineamientos para el Programa Nacional de Agua Potable y Alcantarillado 1990-1994". Revista Agua Potable, Vol. 5 N° 64, Págs. 12-21.
4. Revista Agua Potable, (1990) "Editorial: Termina el Decenio Internacional del Agua". Revista Agua Potable, Vol. 5 N° 65, Págs. 2-3.
5. Ing. Juan Manuel Martínez García (1990) "El futuro del agua en la Ciudad de México". Revista Agua Potable, Vol. 5 N° 68, Págs. 17-21.
6. Raúl Olmedo Carranza (1990) "La Ingeniería Civil en las obras y servicios públicos". Revista Agua Potable, Vol. 5 N° 68, Pág. 37.
7. Revista Agua Potable (1990) "Sobre la calidad del agua en México". Revista Agua Potable, Vol. 5 N° 74, Pág. 10.

8. Organización Panamericana de la Salud, (1990) "Memoria del Taller Regional sobre Abastecimiento de Agua en Areas Urbanas Marginales". Revista Agua Potable, Vol. 5 N° 74, Pág. 21-24.

9. Revista Agua Potable (1991) "Editorial: Sobre un Tratado de Libre Comercio". Revista Agua Potable, Vol. 6 N° 80, Págs. 2-3.

10. Revista Agua Potable (1991) "Noticias y Educación: Estrategia de seis puntos y Análisis al agua de la Casa Blanca". Revista Agua Potable, Vol. 6 N° 80, Págs. 34-39.

11. Watchtower Bible and Tract Society (1986) "¿Estamos quedándonos sin agua?". Revista ¡Despertad!, 22 de Noviembre de 1986, Págs. 3-11.

12. Watchtower Bible and Tract Society (1988) "La Contaminación, ese implacable asesino". Revista ¡Despertad!, 8 de Mayo de 1988, Págs. 3-9.

13. Watchtower Bible and Tract Society (1989) "Los océanos ¿preciado recurso natural, o cloaca mundial". Revista ¡Despertad!, 22 de Julio de 1989, Págs. 3-9.

14. Watchtower Bible and Tract Society (1990) "Una Tierra limpia ¿vivirá usted para verlo?". Revista ¡Despertad!, 8 de Mayo de 1990, Págs. 3-9.

15. Watchtower Bible and Tract Society (1990) "¿Llegaré a ser la Tierra un vertedero?". Revista ¡Despertad!, 22 de Septiembre de 1990, Págs. 3-10.

16. Alfonso Rodríguez (1991) "40 casos de cólera en Hidalgo, Chiapas". Revista Epoca, 19 de Agosto de 1991, N° 11, Pág. 12.

17. Ing. Jaime Sancho y Cervera (1991) "Programa Agua Limpia, respuesta a una preocupación nacional". Revista Ingeniería Civil, Marzo-Abril 1991, Págs. 13-22.

18. Comisión Nacional del Agua (1992) "Nuevas acciones del Programa Agua Limpia". Revista Ingeniería Civil, Enero-Febrero 1992, suplemento.

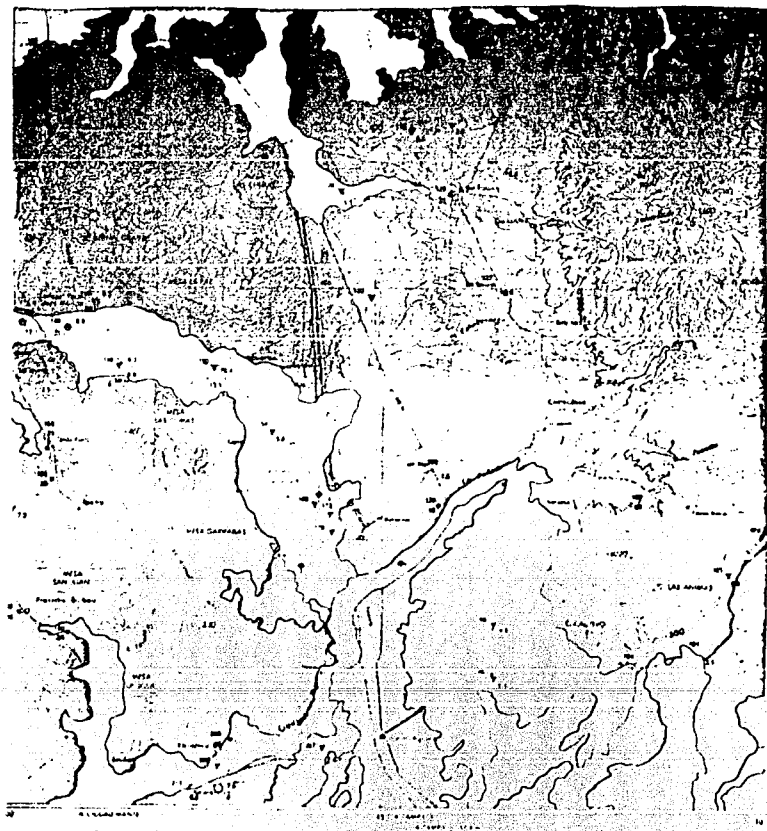
19. Asociación Mexicana de Hidráulica (1991) "Programa... Agua Limpia". Revista La Gota, época 11, Vol. 1 N° 18, Noviembre-Diciembre 1991, Págs. 4, 5.

20. CICM (1991) "Uso eficiente del agua". Revista Noticolegio, año XXI N° 219, Noviembre 1991, Págs. 2-3.

A P E N D I C E

El ejido Francisco Villa se encuentra ubicado en el Municipio de Xicotencatl, Tamaulipas y sus coordenadas son las siguientes:

ALTITUD 320m
LATITUD N23°10'06''
LONGITUD W98°47'24''



+
**TOMA
 DE
 MUESTRAS**

ESCALA 1 : 250 000



1
 100 METROS

A. DISTANCIA ENTRE PUNOS DEL M. M. M. M.
 SUPLEMENTAR: 250000