

27
2ej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES
CAMPUS ARAGON**

**"ANALISIS DEL APROVECHAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES TRATADAS DE LA PLANTA
TERCIARIA DEL PROYECTO TEXCOCO"**

T E S I S

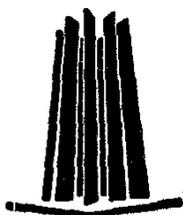
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

I N G E N I E R I A C I V I L

P R E S E N T A :

CLAUDIA IVONNE DUARTE MENDOZA

ASESOR DE TESIS: ING. MARIO AVALOS HERNANDEZ.



MEXICO.

1998.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

266154



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



**EL PRESENTE TRABAJO SE IMPRIMIÓ CON EL APOYO DE
LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA**

AGUA PRINCIPIO Y SOSTEN DE LA VIDA





UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCION

CLAUDIA IVONNE DUARTE MENDOZA
P R E S E N T E .

En contestación a la solicitud de fecha 5 de marzo del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. JOSÉ MARIO AVALOS HERNÁNDEZ pueda dirigirle el trabajo de tesis denominado, "ANÁLISIS DEL APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS DE LA PLANTA TERCIARIA DEL PROYECTO TEXCOCO", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 10 de marzo de 1998
EL DIRECTOR

Lic. CARLOS EDUARDO LEVY VÁZQUEZ

c c p Jefe de la Unidad Académica.
c c p Jefatura del Area de Ingeniería Civil.
c c p Asesor de Tesis.

CELV/AIR/IIa.

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS**, por haberme dado lo mas valioso: La vida gracias por la oportunidad que me has brindado al poder realizar una de mis metas, por darme el tiempo necesario, para lograr este objetivo y haberme favorecido rodeándome de todas estas personas que han contribuido en mi formación, además me has dado Fe y esperanza en todas mis cosas, por eso infinitamente **"GRACIAS"**.

A mi virgen de **GUADALUPE** que nunca me abandono en los momento dificiles y siempre me hizo conservar mi Fe en ella **"Gracias Madre Santísima"**

A mi **MADRE "Guadalupe Mendoza Rosales"** que con palabras no se puede describir lo que ha hecho por mi, gracias por la vida que me diste, la dedicación y el amor que en mi entregaste a cambio de nada, siempre entusiasta, serena, noble, paciente y amorosa, tú sabías que algún día lo lograría **"Gracias Mama"**.

A mi **ABUELLA** "Delfina Rosales Alcocer" quiero agradecer todo lo que ha dado por mí en la vida, ya que siempre me ha dado el cariño mas grande a pesar de todo esta conmigo en todas mis cosas "**Gracias Abuelita**".

A mi **TÍA** "Juana Rosales Alcocer" por su amor y por ser siempre una amiga, sabiendo que contaré con su apoyo incondicional.

A mis **TÍAS**, por el apoyo que recibí de ellas, porque con sus palabras de aliento me ayudaron a seguir adelante

A mis **Tíos**, gracias por sus consejos, que me han ayudado cada día a ser mejor

A mis **PRIMOS (AS)**, para que este trabajo sea, la chispa que encienda en su mente la llama del deseo que los motive a continuar por el camino de la superación

A mi querida y gran amiga la Sra. "**María Harfuch Hidalgo**" y su distinguido esposo el Sr. "**Javier García Paniagua**", por la amistad que me ha brindado a lo largo de este tiempo esperando nunca defraudarte y que nuestra amistad, crezca cada día mas, "**Gracias Mary**".

A mis **AMIGOS Y COMPAÑEROS** a "**Agustín, Elide, Araceli, Ricardo, Lucila, Belén, Lupita, Manuel y José Refugio**", con los que conviví mi carrera durante varios años por su confianza, su amistad, su tiempo, por los momentos en que mutuamente nos necesitamos, porque de hoy en adelante, sigamos siendo lo que hemos sido hasta ahora grandes amigos, doy gracias por compartir con ellos muchos años de mi vida.

A mi mejor amigo "**Roberto Cruz Marquina**", por brindarme tu amistad y apoyo en este trabajo, esperando que nuestra amistad perdure por siempre, "**Muchas gracias Rober**".

A la **Comisión Nacional del agua** infinitamente gracias por creer en mí y darme la oportunidad de realizar mis investigaciones durante la realización de esta tesis.

Mis mas sinceros agradecimientos para los miembros del **Jurado**.

Mis mas sinceros agradecimientos a mi querida y gran amiga **María del Rocío Barajas Amador**, por el apoyo y su amistad que me ha brindado durante este tiempo, "**gracias Chio**".

A todos mis **PROFESORES** que me transmitieron conocimientos y en especial a aquellos que me brindaron su valiosa amistad, apoyo y su ejemplo "**Infinitamente Gracias**".

Con Profundo respeto y admiración a mi asesor de tesis "**Ing. José Mario Avalos Hernandez**", quien me ha brindado sus conocimientos, así como su apoyo y paciencia durante la realización de esta tesis.

A la "**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**", todo mi agradecimiento por dejarme sentir la *satisfacción de ser universitaria* y por darme la oportunidad de cultivarme para ser un elemento de provecho para la sociedad

Agradezco muy especialmente al **Ing. Ismael Alatorre Muñoz** quien me ha brindado su amistad, conocimientos, así como su apoyo durante la realización de esta tesis

INDICE

Introducción.....	I
I.- Antecedentes.....	5
I.1.- Objetivo Comisión del Lago de Texcoco.....	8
I.2.- Reuso de aguas residuales.....	11
I.3.- Subsuelo del Lago de Texcoco.....	14
I.4.- Demanda.....	19
II.- Problemática.....	23
II.1.- Compromisos ante el Tratado de Libre Comercio.....	25
II.2.- Disponibilidad de Agua.....	28
II.3.- Asentamientos del Valle.....	32
II.4.- Sobre Explotación de Acuíferos.....	34
III.- Alternativas de Reuso.....	40
III.1.- Legislación al respecto.....	45
III.2.- Calidad y Cantidad usada de Agua Potable, Urbana, Industrial y Turística.....	49
III.3.- Reuso en Recarga, Industrial y Turística.....	54
III.4.- Proceso de Operación y Disponibilidad.....	58
IV. Factibilidad y Aplicación.....	77
IV.1.- Factibilidad Social.....	79
IV.2.- Factibilidad Económica.....	83
IV.3.- Aplicación Industrial y Turística.....	86
V. Análisis y descripción de la planta de tratamiento terciario.....	89
V.1.- Diseño Arquitectónico.....	94
V.2.- Diseño Estructural.....	95
V.3.- Diseño Instalaciones.....	96
VI.- Costos Construcción y Operación.....	97
VI.1.- Catálogo de Conceptos de Diseño.....	98
VI.2.- Costos Operación.....	104
VI.3.- Comparar m ³ rehusados por \$ Precio.....	110
Conclusiones.....	112
Glosario.....	113
Bibliografía.....	114

INTRODUCCIÓN

ANÁLISIS DEL APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS DE LA PLANTA TERCIARIA DEL PROYECTO TEXCOCO

INTRODUCCIÓN

El agua es el líquido esencial para la vida, por ende para el desarrollo de la civilización y la conservación del hombre, de tal manera que las grandes urbes se han establecido a orillas de las fuentes de abastecimiento de agua potable para su consumo, tales como ríos, lagos, manantiales o en su defecto se generó la tecnología necesaria para obtener agua del subsuelo mediante la extracción por pozos, así que a lo largo de la Historia el agua ha sido elemento fundamental para la civilización humana

En la actualidad, el crecimiento de la demanda de agua de la población a nivel mundial ha propiciado un alto consumo de agua potable lo cual ha traído como consecuencia el que las fuentes de abastecimiento de agua potable se vean sobreexplotadas o bien, en vías de acabarse

La creciente escasez de agua de primer uso para satisfacer las demandas de las diversas actividades económicas y sociales del Valle de México, en especial las del área metropolitana de la Ciudad de México, ha motivado la atención de las autoridades responsables hacia el reuso masivo de las aguas residuales crudas y tratadas, como uno de los medios más importantes a mediano y largo plazo el abasto de agua, canalizando estas aguas para aquellos fines que no requieren agua de calidad potable, y reservando ésta para usos domésticos principalmente.

Puesto que no se puede dejar de consumir agua potable para sus diferentes usos (domésticos, comerciales, industriales, agrícolas, municipales o recreativos) se tienen que elaborar respuestas a esta necesidad de consumo (que no implican los altos costos económicos y sociales que propicia el importar agua de otras cuencas externas) con programas y proyectos de reciclaje y tratamiento de las aguas llamadas "negras" procurando reutilizarlas hasta el máximo nivel posible

En diversas partes del mundo y en nuestro país se han realizado diversos estudios tendientes a la reutilización de las aguas residuales y los efectos de su aprovechamiento en diferentes campos, tales como la agricultura, la industria y la recarga de acuíferos. Esto se debe a los crecientes problemas que causan su poca disponibilidad, su constante degradación en sus características de calidad, y los altos costos para la población y la industria, plantea la posibilidad de reutilizar el agua minimizando los costos de conducción y bombeo, haciendo atractiva la alternativa de sustituir algunos usos del agua de primera calidad con agua residual convenientemente tratada

Hace años que se habla del tema de la escasez de agua, el crecimiento de la población, el aumento de consumo de agua por persona, la rebaja del nivel en el acuífero hacen que el suministro de agua no está garantizado para el mañana

Los aumentos de precio del m³ tienen como meta intentar reducir los consumos.

Traer agua desde Cutzamala como se hace ya, cuesta mucho dinero: 2.000 pesos/m³ (sin contar el mantenimiento) y plantea serios problemas del medio ambiente con la zona considerada, y de consumo eléctrico de tal magnitud que se necesitará construir centrales térmicas. Por lo tanto, el interés del reuso es evidente y obligatorio teniendo en cuenta la situación dramática en la cual se encuentra hoy el suministro de agua potable en el AMCM.

El Gobierno Mexicano y el Gobierno Francés firmaron el 28 de noviembre de 1988, un acuerdo de intención mutua con el propósito de cooperar en el control y la reducción de la contaminación ambiental de la zona metropolitana de la Ciudad de México

De conformidad con los términos de referencia definidos por las autoridades mexicanas, el proyecto consiste en definir las alternativas más adecuadas para el aprovechamiento de las aguas residuales generadas en el Distrito Federal y los 17 Municipios conurbanos del Estado de México a fin de que puedan ser reusadas previo tratamiento según el orden de prioridad definido a continuación

- sector industrial, comercial y servicios
- riego de áreas verdes y agrícolas
- llenado de lagos
- inyección al acuífero

El reuso de agua residual tratada en la industria, tema de nuestro interés hoy, es uno de los objetivos de nuestra misión.

El objetivo principal de la Planta Experimental de Tratamiento Terciario que aquí se describe fue el investigar los procesos de tratamiento avanzado, que permitan diversificar el uso del agua tratada obteniendo agua de calidad adecuada para su infiltración en los estratos subterráneos y determinar la respuesta del proceso y la interacción con los acuíferos.

En cuanto a la Recarga de Acuíferos, los principales objetivos son determinar las posibilidades técnicas, la conveniencia y el costo de la aplicación de recarga en pozos de infiltración empleando aguas tratadas a nivel terciario, evaluando la dispersión (modo y velocidad) de contaminantes dentro del acuífero, su evolución con el tiempo, las variaciones de los niveles piezométricos y las características físico-químicas y bacteriológicas del agua de recarga, estableciendo las condiciones que influyen en la instalación, operación y conservación del sistema, los principales beneficios y desventajas del proceso y las modificaciones requeridas para mejorarlo, otro objetivo fue el estudiar el proceso de colmatación, su generación, desarrollo, control y forma de evitarlo.

* AMCM al glosario

El control cuidadoso de las experiencias derivadas de estos procesos, permitirá la toma de decisiones en la ejecución de proyectos a una escala mayor, para de esta forma disminuir los efectos negativos de la sobreexplotación de los acuíferos y aumentar la disponibilidad de agua para todos los usos en el Valle de México y otras regiones.

Los problemas que padece la Ciudad de México por escasez de agua para diversos usos, especialmente el doméstico, requieren de soluciones que cada vez se vuelven más costosas. En esta situación, la potabilización de aguas usadas se está convirtiendo en una alternativa económica viable, tanto por el encarecimiento de las otras, como por el abatimiento del costo del tratamiento. Es por esto que se ha pensado en plantas potabilizadoras en gran escala para reponer a las fuentes lo que se les quita y evitar los problemas que esto ocasiona.

El acuífero del Valle de México es una de las fuentes más afectadas por el excesivo bombeo, muy superior a su recarga, en sus niveles piezométricos, calidad del agua y los hundimientos del terreno. En la zona metropolitana al sur de la Sierra de Guadalupe, se estima que se extraen alrededor de $34\text{m}^3/\text{s}$ mientras que la recarga natural al acuífero se calcula en sólo $18\text{m}^3/\text{s}$.

Alrededor del Valle existen algunas áreas de pié de monte cuyos sedimentos poseen buena permeabilidad en las que es factible la infiltración artificial por medio de pozos. Ese es el caso del Valle de Texcoco que está situado cerca de la posible localización de las plantas de tratamiento de agua usada. En ese Valle se hace actualmente un bombeo intensivo, principalmente para riego, donde el abatimiento de los niveles piezométricos está propiciando el abandono de muchos pozos por excesiva altura de bombeo y la intrusión salina desde el Lago de Texcoco.

El primer capítulo da a conocer cuáles son los antecedentes, de cómo y en qué año se inicia el proyecto **Texcoco**, así como de las características del subsuelo, su localización, topográfica, estratigrafía y propiedades.

El Segundo capítulo se menciona la problemática, que es muy importante tener en cuenta ya que el principal problema es el del abastecimiento de agua, se han propuesto algunas soluciones como explotar agua de una cuenca a otra, explotar las aguas subterráneas o desalar agua de mar.

El tercer capítulo trata de las alternativas de reuso, aquí se menciona un sistema de nanofiltración como tratamiento del agua residual para producir agua con calidad, operación del equipo, limpieza del sistema, se mencionan principales pretratamientos para evitar algunos problemas.

El cuarto capítulo trata de la factibilidad y aplicación, aquí se dice lo importante que es el uso del agua y lo irresponsable que somos al no utilizarla adecuadamente ya que no tenemos una cultura de aprovechamiento de recursos.

El Quinto capitulo trata del análisis y descripción de la planta terciaria, aquí se menciona para que se construyo y diseño, que capacidad tiene, cual es su función tienen los pozos perforados.

El Sexto capitulo se conoce de los costos de construcción y operación, catálogo de conceptos del diseño mano de obra, materiales y equipo

ANTECEDENTES

I. ANTECEDENTES

El Proyecto Texcoco empezó como tal en el año de 1969 a iniciativa del Dr Nabor Carrillo Flores como un esfuerzo por utilizar la zona del Ex-Lago de Texcoco en beneficio de los habitantes de la Ciudad de México, cubriendo diferentes aspectos de aprovechamiento de la zona como son la desalinización del agua subterránea, la transformación de las zonas áridas e inútiles en zonas verdes, la creación de lagos para usos múltiples, como desarrollo habitacional, etc. Algunos de los objetivos iniciales se han cumplido casi completamente, pero para otros, con el transcurso de los años, las acciones adoptadas y seguidas se han tenido que adecuar a las diferentes circunstancias que se han presentado.

Actualmente, dentro de su plan de acción el Proyecto Texcoco (Comisión del Lago de Texcoco), considera entre otros un programa de tratamiento y reuso de aguas residuales, provenientes de la Ciudad de México y de Ciudad Nezahualcóyotl, así como del poblado de Chimalhuacán, no sólo para abastecer sus propias necesidades (en la zona Federal a cargo de la Comisión del Lago de Texcoco el agua se utiliza para el riego de las cubiertas por pastos, para el llenado de los lagos artificiales, para su propio tratamiento, etc.), sino para proporcionar aguas tratadas a los actuales usuarios de agua potable que la utilizada en riego agrícola e industrial

Cabe mencionar también que dentro del Proyecto Texcoco se contempla también un programa de recarga de acuíferos como su nombre lo indica, pretende que el agua producto del tratamiento terciario sea "inyectada" a una profundidad adecuada a fin de recargar los acuíferos de la zona, este programa tiene un carácter también experimental por el momento.

Como los ríos Churubusco y de la Compañía llegan al Ex-Lago de Texcoco con una mezcla de agua residual y pluvial que alcanza en promedio gastos del orden de los $16\text{m}^3/\text{s}$, se proyectó un conjunto de plantas de tratamiento para aprovechar estas aguas en diversos usos, sobre todo en la agricultura, la industria y servicios municipales, reemplazando así el agua de los acuíferos que en la actualidad se emplea en dichas actividades. El Proyecto Lago de Texcoco fue de los pioneros en el país en establecer sistemas de tratamiento a gran escala, buscando siempre aplicar la tecnología más apropiada y moderna, de acuerdo con los avances que se disponían sobre el saneamiento del agua

Para el diseño de la Planta Terciaria se hicieron los estudios necesarios, como los correspondientes a la caracterización físico-química y bacteriológica de las aguas crudas, ensayos de tratabilidad y los estudios específicos de mecánica de suelos para la cimentación de los tanques y demás instalaciones de la planta

La Planta de Tratamiento Terciario se diseñó y construyó para obtener agua renovada de calidad adecuada para su infiltración en acuíferos, pero también para usos industriales, recreativos y municipales

El sistema construido tiene capacidad de 50l/s y utiliza procesos fisico-químicos como base de la purificación. El influente viene del tratamiento secundario de la planta de lodos activados.

Se integra con las siguientes operaciones y procesos unitarios.

Remoción de elementos tensoactivos (detergentes) mediante un fraccionador de espumas, el agua cruda ingresa al sistema por dicho fraccionador, compuesto por dos tanques que trabajan en serie, equipados con aireación por difusión para la formación de espuma, lográndose 75% de eficiencia en la remoción de detergentes

Mezcla rápida de reactivos químicos en unidad aforadora Parshall, donde se agregan los reactivos químicos floculantes, que se mezclan en el tanque de floculación de paletas de eje vertical.

En esta unidad de tratamiento, que está integrada por tres cámaras, se propicia el aglutinamiento de las partículas coloidales y la formación de flocúlos mediante la mezcla lenta; a continuación pasa a los tanques de sedimentación, clarificadores de placas paralelas de alta tasa

El agua floculada se reparte en dos unidades de clarificación vinculadas a los tanques de floculación, en los que los flocúlos se sedimentan y remueven del proceso, pasando el agua clarificada a filtración, lo que se realiza por gravedad en un medio dual de antracita-arena.

Se utilizan cuatro unidades de filtración de flujo descendente que tienen 45cm de antracita y 30cm de arena, su operación es del tipo de "tasa variable declinante" y el lavado de cada filtro se realiza con el caudal afluyente de los tres filtros, después de esta filtración se pasa a la remoción de compuestos orgánicos residuales en unidades abiertas de carbón activado granular; aquí se remueven color, detergente y DQO residuales. El sistema de carbón activado está integrado por cinco unidades abiertas de flujo descendente, equipadas con un lecho de carbón activado granular (tamaño 8 por 30 US) de 1.6m de espesor, que proporciona un tiempo de contacto de 15min

Finalmente, el agua pasa del tanque de contacto al proceso de cloración, de donde es bombeada para ser inyectada a presión en los acuíferos, así se destina para su reuso en servicios que requieren agua de esta calidad.

El Lago de Texcoco es alimentado por los siguientes afluentes del oriente, los ríos San Juan Teotihuacán, Papalotla, Xalapango, Coxacoaco, Texcoco, Chapingo, San Bernardino, Santa Mónica y Coatepec, por el sureste, los ríos San Francisco, la Compañía (canal de Ayotla), y por el sur el río Churubusco

El Lago ocupaba la parte más baja del Valle, y constituyó el receptáculo, incluso, de excedencias de los otros lagos en la actualidad, y con el hundimiento de la capital, el vaso

ha quedado hasta tres metros más alto que ésta, variando anualmente de acuerdo con los hundimientos que se suceden.

Desde la época precortesiana la cuenca del Valle de México ha sido económica, social y políticamente la región más importante del país y de Mesoamérica. Está localizada en la parte más alta, hacia el sur del Altiplano Mexicano su forma se asemeja a la paleta de un pintor, y está ubicada entre los paralelos 19°02' y 20°12' y los meridianos 98°15' y 99°00' al Oeste de Greenwich.

A fines del siglo XVIII, Velázquez de León decía. “llamamos Valle de México aún con alguna impropiedad, a un país cercado por todas partes de alturas más o menos elevadas, en las que se reparten las aguas, unas corriendo para lo interior del terreno, en cuyos bajos forman diferentes lagos y charcos, etc” Por el norte, de este a oeste, se encuentra limitada por los cerros de Sincoque, San Sebastián, Xalpan y Hucipoxtla, sierra de Tezontlalpan, cerro de Acayucan y sierra de Pachuca. Por el sur, también de este a oeste, por el Popocatepetl, con una altura de 5,462m sobre el nivel del mar, la sierra de Chichinautzin, del Ajusco y el monte de las Cruces. Por el este, de norte a sur, la sierra de Pachuca, cerros Tecajete, San Gabriel Xihuinco, Tlalzalán, Tláloc, Telapon, Papayo y los volcanes Iztaccihuatl y Popocatepetl. Finalmente, por el oeste, de norte a sur, el monte Bajo, monte Alto y monte de las Cruces.

Las principales eminencias dentro del Valle muchas de ellas resultado de los desprendimientos de las formaciones circundantes, constituyen las vertientes internas, siendo de norte a sur; la loma de España, los cerros Cuaqueme, Xoloc, Paula, sierra de Pitos, cerro Gordo de Chiconautla, sierra de Guadalupe, los cerros del Chiquihuite, los cerros de la Magdalena, el cerro de la Estrella, el cerro de Chimalhuacán, el cerro de la Caldera, el cerro de Santa Catarina, el cerro del Pino, el Texolotl, el Ajusco y el Teuhtli.

El área de la cuenca del Valle de México está repartida entre los estados de México, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Distrito Federal.

1.1 OBJETIVO COMISION DEL LAGO TEXCOCO

La Comisión del Lago de Texcoco tiene como objetivo regenerar y aprovechar racionalmente el agua residual que, una vez tratada mediante procesos adecuados, puede utilizarse en las actividades agrícolas, industriales, municipales y recreativas que no requieren agua de calidad potable para su uso.

Al respecto, el área federal a cargo de la Comisión guarda una posición ideal para constituirse en una gran fábrica de aguas tratadas, pues dispone del insumo que son las aguas residuales que llegan a la zona por los ríos Churubusco, de la Compañía y de los Remedios, cuyo caudal integrado será de más de $20\text{m}^3/\text{seg}$ en el año 2000

Ahora bien, con una inversión relativamente baja se puede contar con una serie de plantas de tratamiento, y con procesos a base de lagunas facultativas, se puede lograr en la presente Administración una producción de hasta $13\text{m}^3/\text{seg}$, los cuales se almacenarían en lagos y lagunas con una capacidad de 68 millones de m^3 , los cuales serán alimentados por las Plantas de Tratamiento y las aguas pluviales. Esto permitirá captar los escurrimientos de los ríos de Oriente cuyo caudal es importante en tiempo de lluvias, una de las metas principales del uso que se daría a estas aguas, es el reemplazar el agua potable extraída de los pozos que se usan para fines al Ex-Lago de Texcoco

La sobreexplotación de los pozos esta agotando rápidamente los acuíferos que a corto plazo puede ocasionar serios problemas de escasez de este recurso natural, ya que por ejemplo se ha determinado que en la zona de Texcoco el acuífero se abate a razón de 0.80m por año y en las cercanías existen problemas de intrusión salina, por lo anterior, es urgente llevar a cabo la sustitución del agua extraída del subsuelo para fines agrícolas; por la de agua tratada

Actualmente se está analizando un distrito de riego con extensión suficiente para cubrir las necesidades de los municipios cercanos, y se lograría la incorporación de tierras al cultivo, que actualmente no se aprovechan por falta de agua, este sistema de reuso del agua, tiene suficiente potencial, pues la cantidad de agua residual se incrementará con la población, y en caso de necesitar mayor volumen se podrían construir más plantas de tratamiento. Desde el punto de vista económico, el proyecto es rentable, porque sus costos de producción son muy inferiores a los de importación de agua de otras cuencas, que actualmente se ha incrementado a cantidades extratmosféricas, debido a los grandes desniveles y lejanía de las fuentes de captación.

Actualmente, del volumen de agua que entra a la zona Metropolitana del Distrito Federal y el Estado de México, se usan en fines industriales, municipales y agrícolas más de $20\text{m}^3/\text{seg}$, necesidades que pueden ser satisfechas perfectamente con aguas tratadas

Para alcanzar las metas de este plan, se requiere concientizar, a las comunidades que actualmente utilizan el agua de los pozos en la agricultura, proporcionándoles los servicios

de agua potable, drenaje, salubridad, riego y asistencia técnica que se requieran, de acuerdo con el estudio de sus necesidades

Evaluar bajo diferentes condiciones de operación y de calidad del influente la efectividad de la nanofiltración como tratamiento del agua residual para producir agua con calidad suficiente para ser reinyectada a los mantos acuíferos y determinar la viabilidad económica (los costos de producción) de producir agua tratada a gran escala

Dentro del espectro de los procesos de separación/filtración por membrana, la nanofiltración se encuentra entre la osmosis inversa y la ultrafiltración, el proceso de nanofiltración puede pasar más agua a baja presión de operación que la osmosis inversa, puede remover partículas con un peso molecular en un rango entre 300 y 1000, remueve sales hasta un 90% en su mayoría polivalentes y dependiendo de la configuración interna, es excelente para remover bacterias y virus, remoción de color y otros. También se aplica como pretratamiento para reducir la carga orgánica o mineral para reducir los costos en los tratamientos convencionales, etc.

La nanofiltración es un tratamiento físico que se puede considerar como una filtración del agua que al pasar por una membrana va eliminando sales disueltas, sólidos suspendidos, bacterias, virus y otros contaminantes

El empleo de la nanofiltración en el acondicionamiento de agua residual doméstica, en el tratamiento de desechos industriales para recuperación de materiales valiosos y el reuso de agua, es cada día más aceptada por los grandes beneficios que se obtienen a diferencia de los sistemas convencionales

El equipo de nanofiltración tiene una capacidad de producción entre 3 y 4 GPM* de permeado dependiendo de las características del agua a tratar, el sistema se considera equipo para pruebas in situ, por lo que la operación y el mantenimiento aquí descrito está sujeto a modificaciones durante la ejecución de las pruebas al término de estas, se definirá cuáles serían las condiciones de operación y de mantenimiento para un equipo de producción en línea

El equipo de nanofiltración GIA PN-45 es una unidad paquete que no requiere de un montaje especial, es ligera y portátil, una simple base de concreto bien alineada es suficiente para asentarla en forma segura, las conexiones a los tanques de proceso o a las líneas de abastecimiento y descarga son de tipo rápido, por lo que no se requiere de herramienta.

La instalación en general se realiza en forma simple con manguera flexible tipo agrícola, el arreglo tubería de interconexión de la planta piloto es como sigue:

- * Línea 1. Alimentación de agua a tratar al sistema esta línea se alimenta con el agua pretratada almacenada en el tanque T1

* GPM al glosario

- * Línea 2. Línea de recirculación de agua a tratar: con la finalidad de regular la presión y el caudal del agua que entra al sistema es necesario dividir parte del flujo que es movido por la bomba de alta presión, parte del líquido es enviado al sistema y otra parte es regresada al tanque T1
- * Línea 3. Línea de recirculación de concentrado: parte del agua que sale del sistema es nuevamente recirculada hacia el sistema, para tal efecto se emplea el tanque de rechazo T2
- * Línea 4. Línea de permeado el agua tratada es conducida por esta línea hacia el tanque de agua tratada T3.
- * Línea 5. Línea de rechazo o concentrado. una pequeña fracción del agua concentrada es conducida por esta línea hacia el tanque de concentrado o hacia el tanque de rechazo final.
- * Línea 6. Línea de alimentación de permeado para retrolavado esta línea se emplea para pasar agua hacia el sistema para retrolavar las membranas
- * Línea 7. Línea de recirculación de agua para retrolavado. para controlar la presión y el flujo para el retrolavado se utiliza esta línea para dividir el flujo y enviarlo de regreso al tanque de permeado.
- * Línea 8 Línea de descarga de agua de retrolavado: el desecho de retrolavado es conducido por esta línea hacia el tanque de rechazo

La alimentación eléctrica necesaria para este equipo requiere de un voltaje de 440V, 50/60Hz. el gabinete de fuerza y control proporciona diferentes voltajes para la correcta operación de los controles internos del equipo, el sistema viene equipado con 3m de cable eléctrico para conectarse al tablero de suministro general, no se requiere de conexiones adicionales.

El sistema de nanofiltración está provisto de dos unidades de cartucho desechables para proveer una prefiltración de 5 micras, la limpieza o cambio de los cartuchos dependerá de la cantidad de sólidos presentes en el agua, la caída de presión no debe exceder de 15 PSI.

L2 REUSO DE AGUAS RESIDUALES

¿Por qué el reuso de agua residual es tan importante en la actualidad y en muchas partes del mundo? El constante crecimiento de la población, de la industria, cambios climáticos, destrucción de los sistemas naturales de recarga (bosques, ríos, etc.) obligan a los gobiernos a pensar en aplicar una correcta administración del agua y a implementar reglas y condiciones para el reuso eficiente de esta.

Reusar agua frecuentemente significa menor costo, más económica que traer agua de otros sitios o fuentes de abastecimiento por toda la obra complementaria que esto conlleva, tanques, líneas, rebombeo, personal, etc. Además, los adelantos tecnológicos en el tratamiento de agua permiten tener esta alternativa como la más segura y barata.

Sin embargo, la labor de convencimiento hacia los consumidores de un agua reusada es pesada pero poco a poco están evaluando los pros y contras de estas acciones de reuso contra perderla en los ríos o mares.

Un factor que permite considerar el reuso como una alternativa barata es el cada día más exigente control en los parámetros de calidad del agua residual que se descarga a cuerpos receptores, los sistemas de tratamiento de agua residual tienen que cumplir con reducir contaminantes como fósforo, nitrógeno, bacterias y virus a niveles tales que con un tratamiento adicional puede producirse agua con calidad para consumo humano.

Cada día más y más ciudades están considerando el reuso del agua residual como una fuente invaluable de abastecimiento de agua, en el vecino país del norte; en el Estado de Texas más de cinco ciudades están realizando proyectos para reusar el agua residual para diferentes aplicaciones

En la ciudad del Paso, existe desde 1985 un proyecto de recarga de mantos acuíferos con agua residual municipal tratada, el agua residual municipal es tratada en una planta procesadora y de ahí es reinyectada al acuífero por medio de 10 pozos, con esta acción los niveles de agua en el subsuelo que antes de esta medida tenían una pérdida de 2FT, por año y ahora tienen 0.6FT, esta planta inyectaba al acuífero un promedio de 7 millones de galones de agua por día

La calidad del agua tratada debe ser lo suficientemente segura para poder inclusive, inyectarse directamente a la línea de abastecimiento municipal. Sin embargo, no debe perderse de vista que la recarga de mantos acuíferos puede proporcionar mayores ventajas.

El crecimiento industrial y urbano, así como la extensión de las áreas de riego, ha provocado el deterioro de una gran parte de las aguas superficiales y, en algunos casos, de aguas subterráneas del territorio nacional. Esta situación tiende a agravarse como

consecuencia de que el control de la contaminación no crezca en la misma proporción que el desarrollo del país

Se estima que la disponibilidad de agua de la República es de aproximadamente 410 mil millones de metros cúbicos por año, de los cuales actualmente se utiliza el 46% y que, hacia el año 2000, debido al incremento previsto en la generación de energía eléctrica, la agricultura y la industria, se aprovechará el 95%. Todo esto sin contar que algunas zonas de la República Mexicana han rebasado ya su disponibilidad regional y, en consecuencia, sobreexplotan el recurso, con la necesidad de importar, adicionalmente agua de lugares apartados. Este es el caso de la zona Metropolitana de la Ciudad de México, de la Ciudad de Guadalajara o de Guaymas, que importará próximamente agua del acuífero de Boca Abierta y de la cuenca del río Yaqui

Por lo anterior, y ante la existencia de grandes volúmenes de agua contaminada que representan un problema tanto en la actualidad como en el futuro, se requiere la búsqueda inmediata de soluciones. Entre éstas el reuso tiene el atractivo de ser una forma de disposición de las aguas residuales al mismo tiempo que ayudaría a disminuir las carencias de aguas blancas en diversas zonas del país.

Para la utilización de las aguas residuales municipales hay que tener en cuenta, sin embargo, algunos riesgos que esta práctica trae consigo: los habitantes de la zona de riego están inmersos en un ambiente peligroso para la salud, por la presencia de organismos patógenos; los productos agrícolas que se consumen crudos pueden representar un riesgo bacteriológico si son regados con aguas contaminadas; los metales pesados que contiene el agua residual se depositan en el suelo y se introducen en la cadena alimenticia hasta llegar al hombre; se incrementa la salinidad de los suelos, sobre todo los de estructura fina, disminuyendo su productividad

El Departamento del Distrito Federal ha propiciado el reuso desde hace más de veinte años, por medio de la construcción y operación de siete plantas de tratamiento. La capacidad total de las plantas es de $4.2\text{m}^3/\text{se}$ correspondiendo al 14% del caudal de aguas negras generadas, pero solamente tiene una producción neta de $1.85\text{m}^3/\text{seg}$ pues la infraestructura de conducción existente sólo permite el aprovechamiento de este volumen en el riego poco más de 1,000ha de áreas verdes en la Ciudad de México

Además del riego agrícola y de jardines, las aguas residuales municipales pueden reusarse en la industria, previo tratamiento, principalmente para labores de lavado de maquinarias, enfriamiento o procesos en donde el agua no entre en contacto directo con el producto, o que éste, por sus características no requiera de una calidad bacteriológica o físico-química especiales. El reuso de aguas residuales municipales en la industria se lleva a cabo en nuestro país principalmente en las ciudades de México, D F y Monterrey, N L.

Entre las acciones que serían convenientes para lograr que se alentara el reuso del agua en las zonas con mayores conflictos, conviene mencionar: el establecimiento y reglamentación de criterios técnicos de calidad para el reuso de aguas residuales,

promover la complementación y rehabilitación del sistema de alcantarillado, como acción necesaria para la captación de las aguas residuales, impulsar el empleo de técnicas de riego que permitan obtener un mayor rendimiento del agua en las zonas áridas o con conflictos de uso; y promover el reuso del agua en la industria por medio de alicientes o sanciones, de modo que se liberen aguas blancas en la mayor proporción posible

Las estrategias mencionadas en la sección correspondiente al ahorro del agua, incluyendo el pago justo por el recurso y la conscientización ciudadana, complementan también las que hayan de encaminarse al reuso.

En la cuenca del Valle de México se generan un promedio anual $56\ 36\text{m}^3/\text{s}$ de aguas residuales y pluviales ($42.81\text{m}^3/\text{s}$ y $13\ 55\text{m}^3/\text{s}$ respectivamente)

Dentro de la Cuenca se reusan del orden de $9\ 89\text{m}^3/\text{s}$ de aguas residuales, de las cuales se tratan en promedio $6.76\text{m}^3/\text{s}$; en el Distrito Federal $3\ 40\text{m}^3/\text{s}$ principalmente en las plantas Cerro de la Estrella, Ciudad Deportiva, Coyoacán (antes Xochimilco), El Rosario, Chapultepec, San Juan de Aragón, San Luis Tlaxiátemalco, Tlalpan-Colegio Militar, así como, en el Estado de México $3\ 36\text{m}^3/\text{s}$, Lechería, Chapingo, Nezahualcoyotl, San Juan Ixhuatepec, San Cristóbal y las del Proyecto Lago de Texcoco (que son tres sistemas de tratamiento: la Planta de Lodos Activados con capacidad instalada de 1000l/s ; las Lagunas Facultativas de Recirculación con capacidad instalada de 500l/s , 64ha de espejo de agua, en la cual la fuente de energía para el tratamiento es la luz solar y un Módulo Experimental de tratamiento Terciario, para el tratamiento mediante floculación con cal, sulfato de aluminio y polielectrolito, filtración y desinfección, con capacidad instalada para 50l/s)

Se reusan dentro de la Cuenca en la ZMCM $4\ 76\text{m}^3/\text{s}$ para el riego de parques y jardines, llenado de lagos recreativos, recarga de acuíferos, sector industrial y comercio (lavado de vehículos) En el Proyecto Lago de Texcoco (evaporación de los lagos y riego de pastos), pequeñas zonas agrícolas y en las Unidades de Riego (principalmente en la zona de riego Los Insurgentes, Laguna de Zumpango) $3\ 86\text{m}^3/\text{s}$

El volumen de agua residual y pluvial que sale de la cuenca Valle de México es de $46.48\text{m}^3/\text{s}$ (en promedio) por el Emisor del Poniente y Emisor Central al río El Salto $33.53\text{m}^3/\text{s}$ y por el Gran Canal del Desague al río Salado $12\ 95\text{m}^3/\text{s}$ (de acuerdo a las necesidades de operación del Sistema que realiza el D D F.)

El uso del agua residual representa un recurso invaluable dentro y fuera de la Cuenca, donde el agua y la materia orgánica (nutrientes) que transporta son sumamente valiosos para la agricultura

ZMCM al glosario

1.3 SUBSUELO DEL LAGO DE TEXCOCO

La planta de tratamiento terciaria que se trata en esta tesis se localiza sobre el Ex-Lago de Texcoco, por lo cual, resulta de interés el describir, aunque sea someramente, las características del subsuelo (su localización, topografía, estratigrafía, propiedades, etc.) de dicho Ex-Lago

El Ex-Lago de Texcoco se encuentra localizado al noreste de la Ciudad de México, en el antiguo Lago de Texcoco y zonas aledañas, la topografía de la región es plana con promontorios aislados como el Cerro del Peñón y el Cerro de Chimalhuacán. Hacia el este se levantan las sierras de Calpulalpan y Río Frio, y hacia el oeste la sierra de Guadalupe, la transición entre estas zonas es gradual hacia el oriente y abrupta hacia la sierra de Guadalupe y el Cerro de Chimalhuacán, como se aprecia en la figura 1.3.1.

En cuanto a su estratigrafía, las formaciones superiores del subsuelo en la zona del Ex-Lago de Texcoco, son similares en su origen y propiedades a las que se localizan bajo la Ciudad de México, pudiendo distinguirse las formaciones siguientes: Manto Superficial, Formación Arcillosa Superior, Capa Dura, Formación Arcillosa Inferior y Depósitos Profundos.

Las formaciones existentes bajo la zona Metropolitana se extienden hacia el Lago de Texcoco, con las características descritas a continuación:

Manto Superficial (MS): Constituido por arcillas consolidadas por secado, arenas limosas y limos arcillosos con un contenido de agua promedio de 61%, su espesor medio es de 1.5m, el que aumenta en las zonas cercanas a la Sierra de Guadalupe a 6m aproximadamente, en las zonas de inundación permanente y en aquellas recientemente expuestas a secado, no es apreciable este estrato o tiene unos cuantos centímetros de espesor, en la zona lacustre, esta formación se encuentra surcada por innumerables grietas rellenas con materiales eólicos y profundidad superior a 4m, por lo que penetran en el estrato subyacente.

Únicamente existen rellenos en las cercanías del Bordo Xochmaca, en la intersección del Bordo Poniente con el camino Peñón - Texcoco y en la zona del Aeropuerto.

Formación Arcillosa Superior (FAS): Su espesor varía, en dirección Norte-Sur de 17m aproximadamente en el Caracol a más de 40m en el Bordo Xochiaca, como puede apreciarse en la figura 2. En dirección Oriente-Poniente, varía entre 38 y 17m, del kilómetro 3 al 13 del camino Peñón - Texcoco, según se muestra en la Figura 3. Está formada por arcillas de origen volcánico-lacustre altamente compresibles, intercalada por bolsas y estratos arenosos, limoarenosos y de vidrio volcánico a diversas profundidades, destacándose una capa de arena negra en estado suelto, en ocasiones limosa, con espesor variable entre 0.2 y 2m, a profundidades comprendidas entre 3m en las zonas Norte y Oriente, 3 a 8m en la zona Poniente y 12m en Ciudad Netzahualcóyotl; su contenido de agua medio es de 44%.

En el Sur del Caracol, la FAS se encuentra intercalada por estratos limoarenosos de mayor espesor, lo que indica su proximidad con la zona de transición mientras que hacia el Sur, con excepción del estrato mencionado, son de poco espesor. El contenido de agua medio de esta formación es de 303%.

Capa Dura (CD): En el Lago de Texcoco, el horizonte de desecación denominado capa dura de la Ciudad de México es de menor espesor, el cual varía de 3.5m en el Norte y Oriente hasta desaparecer en ocasiones en la vecindad de Ciudad Netzahualcóyotl; en la zona Poniente es muy complicado identificarlo con precisión, ya que en ella proliferan depósitos compactos y sueltos con propiedades semejantes a las de la llamada capa dura. La constituyen primordialmente suelos limoarenosos, arenosos y limosos intercalados en ocasiones por materiales arcillosos. Su contenido de agua medio es de 59% y su resistencia a la penetración estándar es notablemente variable, aún para la misma zona, con valores extremos de 8 a más de 50 golpes.

Formación Arcillosa Inferior (FAI): Del mismo origen y características que la superior se diferencia de ésta por su menor contenido de agua medio, que es de 255% y por tener menor compresibilidad y mayor resistencia al corte, en ella se localizan también lentes y estratos limoarenosos y vidrio volcánico, siendo éstos más frecuentes que en la FAS.

Tiene un espesor variable entre 20m al centro del Lago, disminuyendo hacia la periferia a 3m, situado en la zona Oriente, en la zona Poniente su espesor decrece rápidamente de la Vía Morelos hasta desaparecer en la Sierra de Guadalupe.

Depósitos Profundos Superiores: Conocidos también como segunda capa dura, están constituidos por limos, arenas finas y limosas muy compactas. La profundidad de su horizonte superior está comprendida entre 24m en la parte Oriente, a más de 64m en las inmediaciones del Bordo Xochiaca, tiene un contenido de agua cercano al 50% y su resistencia a la penetración estándar es mayor de 50 golpes.

Tercera Formación Arcillosa: De acuerdo con estudios anteriores, exploraciones y trabajos de perforación realizados para la instalación de los sistemas de bombeo bajo los lagos Desviación Combinada y Texcoco Sur, existe dentro de los depósitos profundos una formación compresible de espesor superior a 6m, la que se reporta como tercera formación arcillosa y cuyo contenido de agua medio es de 147% con valores máximos del orden de 280%.

Depósitos Profundos Inferiores: Subyacente a la anterior formación, se localizan estratos arenosos, limosos y limoarenosos, que en ocasiones contienen arcilla y gravas, su contenido medio de agua es de 37%.

Las profundidades de las formaciones del Ex-Lago de Texcoco se encuentran en la tabla 1. Un perfil general de la estratigrafía, hasta ahora tratada, en dirección N-S, puede observarse en la figura 2 y otro, en dirección E-W, en la figura 3.

TABLA I VALORES MEDIOS DE PROPIEDADES INDICE EN LAS FORMACIONES DEL LAGO DE TEXCOCO												
PROPIEDADES	CONSTANTE DE AGUAS (%)		LÍMITE LIQUIDO (%)		LÍMITE PLÁSTICO (%)		RENDIMIENTO DE SOLIDON (%)		RELACION DE VACION		RENTA AL CORTA (kg/cm ²)	
	VALOR MEDIO	n	VALOR MEDIO	n	VALOR MEDIO	n	VALOR MEDIO	n	VALOR MEDIO	n	VALOR MEDIO	n
Formación Superficial	0	12	100	15	75	10	100	24	100	100	100	25
Formación arcillosa Superior	103	1555	101	624	24	24	2470	100	100	100	1707	8
Capa Dura	50	109	71	24	37	24	253	0	100	100	188	8
Formación arcillosa Inferior	255	150	142	188	30	174	218	604	89	104	932	271
Depósitos Profundos Superiores	39	476	94	54	17	64	242	8	100	8	954	2
Tercera Formación Arcillosa	147	227	182	50	68	50	137	6	100	0	938	5
Depósitos Profundos Inferiores	17	398	48	26	35	26						

El subsuelo y la ingeniería de cimentaciones en el área urbana del valle de México

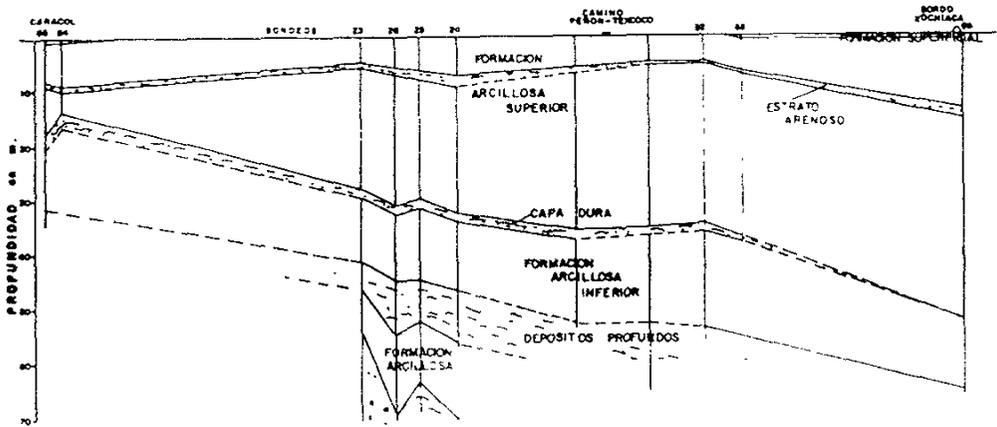


Figura 2 Perfil del Lago de Texcoco Dirección N-S

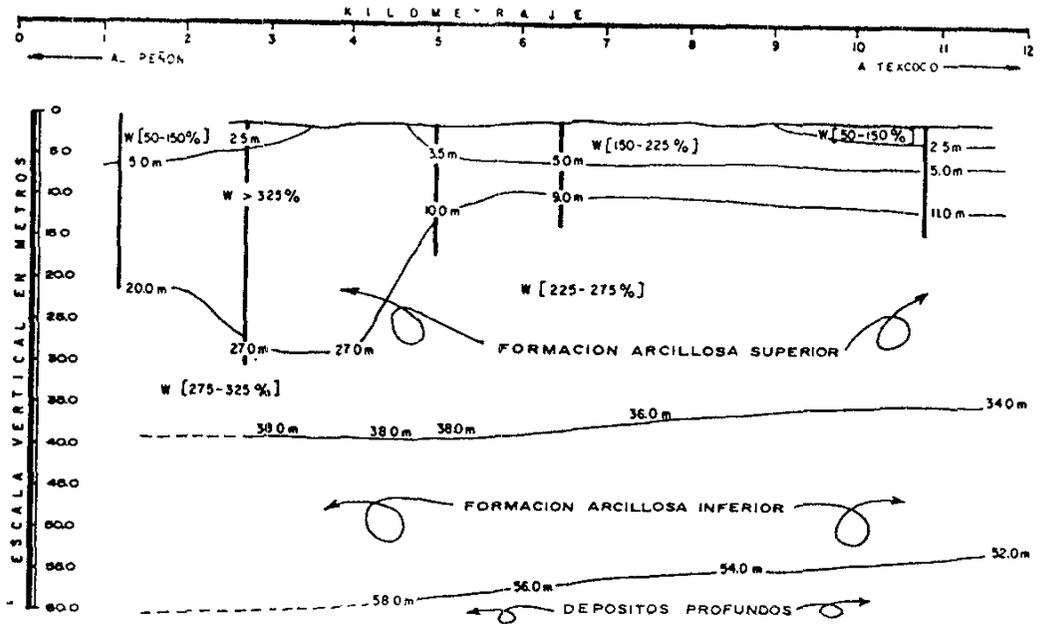


Figura 3 Perfil de suelos a lo largo de la carretera Peñón-Texcoco. Origen en Unidad Aragón

Información obtenida de la Comisión Nacional del Agua (CNA)

I.4 DEMANDA DE AGUA POTABLE

Con el acelerado crecimiento poblacional del Distrito Federal, el cual se acentuó a partir de 1950, se estableció un proceso en el cual las autoridades responsables del suministro de agua tenían que abatir el rezago existente en la prestación del servicio, que para 1960 beneficiaba a poco más del 50% de la población

Además, se requería abastecer a la nueva población que se asentaba dentro del Area Metropolitana de la Ciudad de México, que para entonces comenzaba a conurbar con algunos municipios del Estado de México.

Sin embargo, para poder establecer sobre bases más firmes la magnitud de este problema se requerían conocer los caudales de agua que se proporcionaban a los usuarios, así se desarrollaron acciones tendientes a cuantificar la cantidad de agua que recibía en promedio cada habitante tomando en cuenta la población existente y un estimado de la cantidad de agua suministrada. Con base en estas limitaciones, se fijó una dotación para fines de planeación de 320 litros por habitante al día

Al comparar la disponibilidad y los requerimientos de agua se puede apreciar que si bien prácticamente siempre ha existido una situación de déficit, hacia 1974 la oferta casi igualó a la demanda, lo cual se debió principalmente a que la Comisión de Aguas del Valle de México, comenzó a suministrar los primeros caudales de agua en bloque. Sin embargo, es importante mencionar que la segunda mitad de la década de los setentas, sólo el 63% de la población contaba con el servicio de agua potable mediante toma domiciliaria; el 37% restante se abastecía mediante tomas colectivas, hidrantes públicos y carros tanque.

A medida que se mejoró la medición de los caudales que ingresaban al Distrito Federal y al considerar el incremento poblacional ocurrido, se concluyó que la dotación proporcionada a los habitantes era inferior a la que se estimó, bajo este contexto, es importante mencionar que entre 1978 y 1980 el Departamento del Distrito Federal emprendió el Programa de Colonias Populares, mediante el cual se dotó con agua potable a 1.2 millones de habitantes que carecían del servicio, con lo que se logró pasar de un nivel del 63% al 97%, el cual se ha podido mantener a partir de entonces, la medida anterior, tendiente desde luego a suministrar el vital líquido a un número mayor de habitantes, repercutió entre la población que ya contaba con el servicio puesto que al mantener prácticamente constante la oferta, se repartió el mismo volumen de agua entre un mayor número de habitantes.

No obstante los esfuerzos realizados, el explosivo crecimiento poblacional ha ido siempre adelante de los esfuerzos gubernamentales emprendidos para dotar a toda la población con los servicios que requiere, a pesar de la construcción de grandes obras, cuyo costo debe ser medido tanto en términos económicos, como políticos y sociales. El más reciente ejemplo de ello lo constituye el sistema de la cuenca del río Cutzamala, de donde el agua tiene que conducirse 127Km y vencer un desnivel de 1200 metros para llegar a la ciudad.

* déficit al glosario

Actualmente la infraestructura de agua potable que se emplea para suministrar el servicio a la población, esta formada básicamente por 847 pozos profundos, 467Km de líneas de conducción, 240 tanques de almacenamiento y regulación cuya capacidad conjunta es de 1500 millones de litros, 175 plantas de bombeo, 564Km de red primaria (conductos cuyo diámetro varía entre 0.5 y 1.83 metros), 12,065Km de red secundaria (conductos cuyo diámetro es inferior a 0.5m), 4 plantas potabilizadoras y 326 dispositivos de cloración.

La infraestructura señalada, muestra que el sistema hidráulico del Distrito Federal no sólo se caracteriza por su magnitud

En las décadas de los treinta y los cuarenta, el hundimiento del terreno en la Ciudad de México se incrementó notablemente debido a la excesiva extracción de aguas subterráneas por medio de pozos y norias¹, situación por la cual a principios de los cincuenta se puso en operación el Sistema Lerma, que llegó a aportar en los setenta hasta 13,700 litros por segundo de agua potable al Área Metropolitana de la Ciudad de México. Esta contaba en aquél entonces con 11 municipios del Estado de México conurbados a la capital, y para no continuar incrementando la sobreexplotación de los Valles de México y Toluca-Ixtlahuaca, se hizo necesario captar el agua de cuencas externas diferentes a la del Alto Lerma, la que por esas fechas, ya presentaba signos de sobreexplotación.

Ante esta situación, en 1972 la extinta Comisión de Aguas del Valle de México² realizó estudios de las cuencas de Cutzamala, Libres-Oriental, Tula-Taxhimay, Alto y Bajo Tecolotla y Alto Amacuzac, determinándose que la cuenca del río Cutzamala disponía de las mejores condiciones en cuanto a calidad del agua y caudales excedentes, que sólo requerían cambio de uso de generación eléctrica a suministro de agua potable, sin perjuicio para la región, ya que se mantendrían reservas de 3000 litros por segundo para generación de energía eléctrica y una cantidad similar para atender demandas locales y futuros desarrollos.

El sistema Cutzamala aprovecha las aguas de la cuenta alta del río Cutzamala, provenientes de las presas Tuxpan y El Bosque, en el Estado de Michoacán, Colorines, Ixtapan del Oro, Valle de Bravo y Villa Victoria en el Estado de México, que anteriormente formaban parte del sistema hidroeléctrico Miguel Alemán, así como de la presa Chilesdo, que fue necesario construir para aprovechar las aguas del río Malacatepec.

El reto sigue latente, la ciudad continua expandiéndose, la población, aunque no con los índices anteriormente registrados, sigue creciendo y demandando mayores volúmenes del recurso. Ante esta situación el abastecimiento de agua potable representa una de las prioridades más importantes de la actualidad, a fin de atender, por una parte las nuevas demandas y por otra, reducir gradualmente la severa sobreexplotación a que se ha sometido el acuífero del Valle de México.

¹ Norias al glosario.

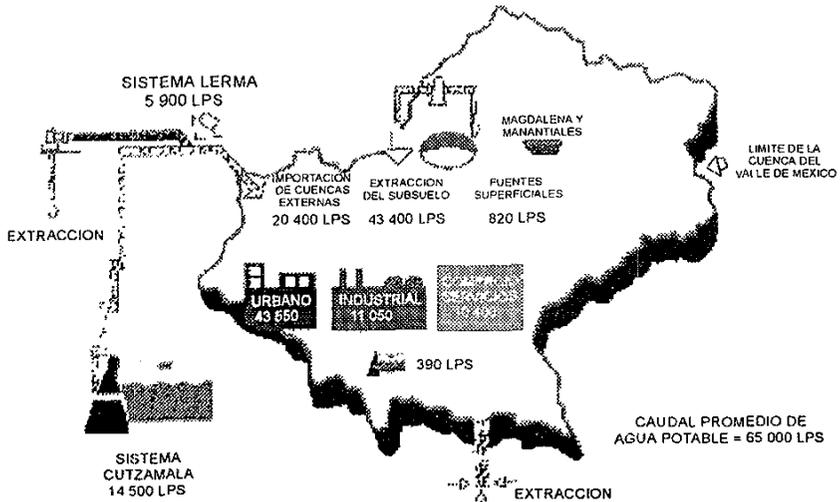
² Extinta Comisión al glosario.

Es importante destacar que el Area Metropolitana de la Ciudad de México no cuenta con sitios adecuados para regularizar y almacenar el agua de lluvia, por estar asentada en la parte más baja del Valle en un continuo urbano de 1300 kilómetros cuadrados que obstaculiza la recarga del acuífero, situación que propicia que de la lluvia media anual de 7000 millones de metros cúbicos que se precipita dentro de la cuenca en sólo cuatro meses del año, el 80% se evapotranspire, el 11% se infiltre en el subsuelo (23 a 25 m³/s) y del 9% restante que escurre superficialmente, una pequeña parte sea regulada para su aprovechamiento y el resto se conduzca al Sistema General de Drenaje para evitar inundaciones.

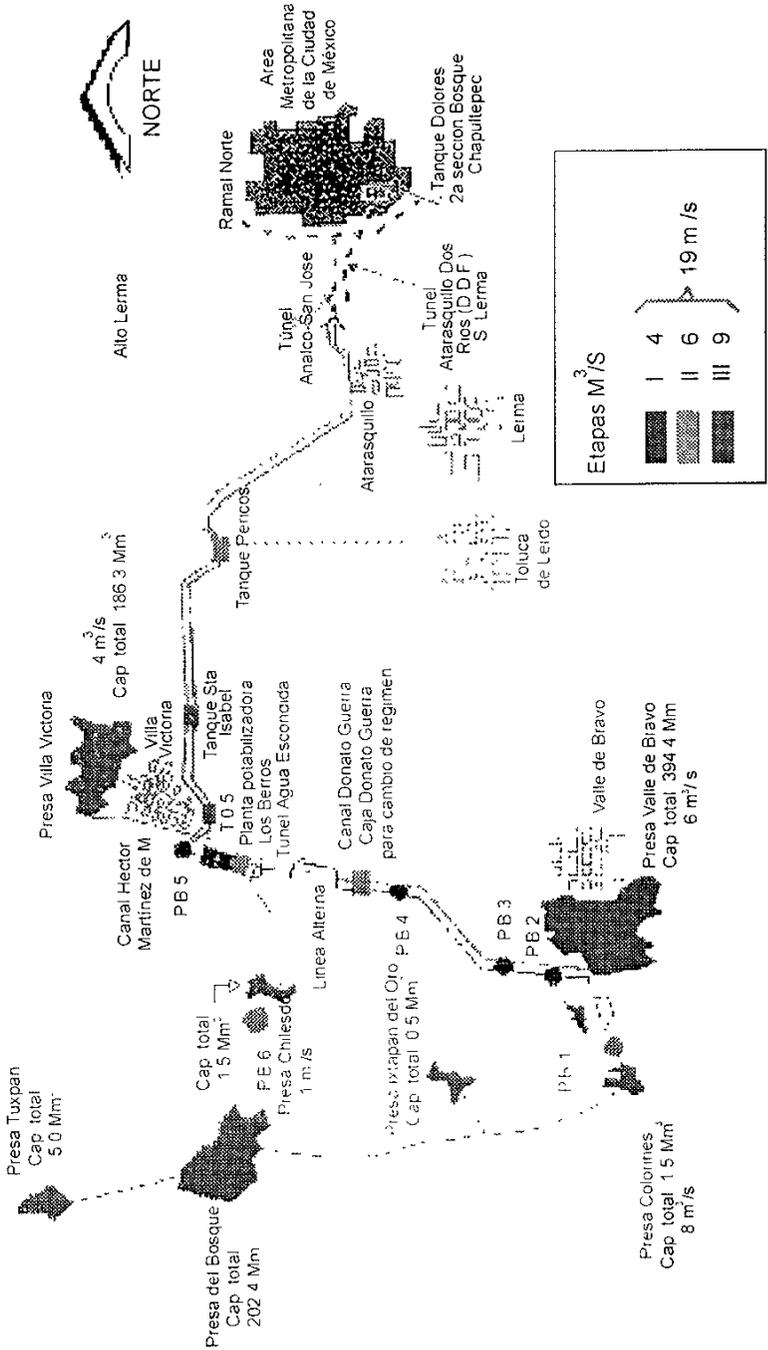
Actualmente, la Comisión Nacional del Agua, a través de la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México, atiende el suministro de agua potable en bloque y coordina el manejo del drenaje dentro del Valle de México; la Secretaría de Salud participa en el control de la calidad del agua suministrada; el Departamento del Distrito Federal se encarga de parte del suministro y de la distribución del recurso, así como del desalojo de las aguas residuales y pluviales de la ciudad.

De este abastecimiento, la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México, suministra al Area Metropolitana de la Ciudad de México, un promedio de 23,300 litros por segundo (35%) mediante la operación y mantenimiento de siete acueductos con más de 200 kilómetros de longitud dentro de este Valle, los cuales están integrados por 213 pozos profundos, cinco plantas de rebombeo, la presa y planta potabilizadora Madín y el Sistema Cutzamala.

Abastecimiento de agua potable al Area Metropolitana de la Ciudad de México



Croquis del Sistema Cutzamala



PROBLEMÁTICA

II. PROBLEMÁTICA

El problema del abastecimiento de agua para cubrir las necesidades de desarrollo socioeconómico y crecimiento industrial que plantea la sociedad moderna, no es nuevo en México ni en otra parte del mundo. En México, las soluciones propuestas hasta la fecha, como exportar agua de una cuenca a otra, explotar las aguas subterráneas o desalar agua de mar, han resuelto en mayor o menor grado el problema al poner en práctica estas soluciones.

Uno de los principales problemas que han aumentado en magnitud es la disposición de las aguas residuales generadas por las actividades humanas, por lo tanto el reuso del agua se puede contemplar como una de las alternativas para solucionar algunos de los problemas mencionados, presentando mayores atractivos al considerar al agua residual como un recurso aprovechable, es necesario resaltar el hecho de que en nuestro país las aguas residuales son muy estimadas y utilizadas por los agricultores.

Sin embargo, en la actualidad se requiere extender el aprovechamiento de éstas aguas a otras actividades, aunque es un hecho que, las industrias recirculan sus aguas cuando es posible y se riegan parques y jardines con aguas residuales tratadas, el volumen aprovechado es mínimo en comparación con el utilizado en el riego agrícola.

Dada la tendencia de maximizar el aprovechamiento de los recursos, y las fuertes demandas que existen entre los diversos usos competitivos del agua, ya no es posible considerar que sólo la agricultura sea la que utilice las aguas residuales, gran cantidad de industrias pueden utilizar agua de menor calidad que la potable en algunos de sus procesos y recircular al máximo dentro de la misma industria, y posteriormente sus afluentes (convenientemente tratados) pueden ser utilizados para el riego agrícola.

Es posible pensar en infinidad de opciones para el manejo y aprovechamiento de las aguas residuales, y todas las alternativas que se seleccionen tendrán validez en función de los beneficios que se obtengan y los riesgos en que se incurra.

Las investigaciones realizadas en los países desarrollados y las necesidades que plantea actualmente el reuso del agua en prácticas agrícolas, es necesario determinar claramente los riesgos de contaminación causados por los contaminantes tradicionales y sus efectos antagónicos y sinérgicos, además de investigar los compuestos orgánicos tóxicos, carcinogénicos, mutagénicos, así como otros organismos patógenos (protozoarios, helmintos, etc.) y virus que estén presentes en las aguas residuales de nuestro país.

También es necesario estudiar las interacciones del uso de las aguas residuales en la agricultura y las aguas subterráneas, todo esto nos debe conducir a obtener el marco teórico necesario para normar el Reuso del Agua en la Agricultura, de manera tal que se realice en forma segura, se preserven de su degradación los recursos naturales, se optimice la administración del recurso hidráulico y se mantenga o mejore la productividad de las zonas agrícolas.

En base a los procesos típicos de los sectores industriales estudiados, trabajando con aguas residuales domésticas, se encontró que la industria de la celulosa y el papel, debido a la gran cantidad de agua que maneja en sus procesos, es factible utilizar aguas residuales domésticas tratadas a nivel secundario o avanzado, en función de la calidad y tipo del producto elaborado, en el caso de las cerveceras no es aconsejable a la fecha reusar aguas municipales tratadas aún a nivel avanzado para sus procesos sin embargo, sus efluentes pueden ser tratados fácilmente en un tratamiento secundario obteniéndose agua de calidad tal, que podrían utilizar otras industrias

Adicionalmente, se incluyó una sección referente a costos de construcción, operación y tratamientos de aguas residuales, la cual presenta una metodología que es aplicable para determinar la factibilidad económica de reusar las aguas municipales en la industria, en casos particulares. Debido a las suposiciones necesarias para determinar la factibilidad económica de usar las aguas residuales municipales en la industria a nivel nacional, no es aplicable esta metodología, ya que los parámetros a considerar serían poco apegados a la realidad y los resultados que se obtuvieran carecerían de utilidad

Se tiene que seguir trabajando en el amplio campo de reuso del agua, y atacarlo en forma sistemática sin perder de vista el objetivo, que es optimizar el aprovechamiento del uso del agua residual, ya que la naturaleza dinámica de las aguas residuales depende del avance en los procesos industriales y del tipo de compuestos que se estén elaborando, los cuales cambian a través del tiempo. Así pues, el avance tecnológico conlleva mayores problemas de contaminación, apareciendo nuevas sustancias químicas que es necesario cuantificar su presencia y permanencia en nuestro medio ambiente, y determinar los métodos de control necesarios para llevar a la práctica el reuso del agua en forma segura y benéfica para el usuario y el país en general

II.1 COMPROMISOS ANTE EL TRATADO DE LIBRE COMERCIO

El asunto más importante en el suroeste de Estados Unidos y el norte de México es la cantidad y calidad del agua, tiene poca importancia elevar los niveles de ingreso en Agua Prieta (en el estado de Sonora) si la contaminación de las fundidoras de cobre en ambos lados de la frontera disminuye las expectativas de vida, la alta tasa de mortalidad infantil de Nuevo Laredo 42 l por mil comparado con ocho por mil en niños de más de un año al otro lado de la línea fronteriza en Laredo es causada en su mayor parte por enfermedades evitables como resultado de un inadecuado tratamiento del agua y los alimentos, combinados con la pobreza externa

Los aspectos ambientales son campos en sí mismos que no pueden ser cubiertos adecuadamente aquí, aunque ninguna discusión sobre la frontera estaría completa sin su examen, más allá de su importancia intrínseca conforman mucho de los intercambios entre las autoridades a lo largo de la frontera y aún las negociaciones entre los dos gobiernos federales, los conflictos ambientales han estado entre los más difíciles de resolver entre los dos países, así como de los más benéficos en términos de cooperación, permítasenos discutir brevemente tres áreas ambientales mayores el agua, el aire y los desperdicios peligrosos

Calidad del Agua. Algunas porciones de las aguas de los ríos principales, el Río Bravo y el Colorado, han sido arreglados bajo dos Tratados, el de 1906 y el de 1944 Albert Utton, un experto norteamericano en el agua, ha escrito “Hasta ahora, podemos proporcionar un buen informe sobre la distribución de las aguas superficiales compartidas por México y Estados Unidos, los dos países han sido capaces de acordar amigablemente sobre la división de los ríos principales, dejando solamente los ríos menores sin distribuir”.

De acuerdo con Utton, el principal problema sin resolver relativo a la distribución de la cantidad de aguas superficiales es que hacer en el caso de una inundación extraordinaria o un accidente serio. Utton ha argumentado que puesto que el agua de superficie es completamente apropiada, la tarea para el futuro si la población continúa creciendo, es instituir mejores medidas conservacionistas estableciendo propiedades entre los usos del agua que permitirían el retiro gradual de la producción agrícola intensiva de ese líquido en favor de las necesidades municipales e industriales, por ejemplo

La institución encargada de implementar el tratado de aguas de 1944 es la Comisión Internacional para la Frontera y las Aguas (IBCW por sus siglas en inglés), descrita por un observador como “una agencia extraordinaria para la administración del agua regional como no se encuentra en ninguna otra parte”

Su predecesora, la Comisión Internacional Fronteriza (IBC por sus siglas en inglés) fue establecida en 1889, la IBC fue integrada a la Comisión de Aguas Internacionales en 1932 para establecer la IBWC, que tiene secciones mexicana y americana, cada una encabezada por un comisionado y sus empleados, cada lado paga sus propios gastos y concede status

diplomático y libre movimiento en su territorio al personal de la otra parte, la Comisión lleva a cabo un trabajo importante, casi completamente sin publicidad y en gran parte divorciada de los conflictos políticos que de otra manera impedirían la interacción entre las naciones y ha demostrado que es posible mantener una fructífera cooperación en un nivel técnico sin embargo, muchos son asuntos políticos y por tanto fuera del alcance de la IBWC, incluyéndola cada vez más importante agua subterránea y aspectos de las aguas de desecho.

Las aguas del Río Colorado resuelven las necesidades de 15 millones de personas en el suroeste de Estados Unidos y en el Valle de Mexicali del noreste de México, a partir de la construcción del proyecto Welton-Mohawk en Arizona en 1961, la salinidad del río Colorado se elevó a niveles inaceptables en México, destruyendo un área estimada de 7000 acres y obligando a cerca de 500 agricultores al año a abandonar sus tierras, la solución supuestamente permanente a este problema no fue lograda sino hasta 1973, cuando fue firmada la minuta 242 de la IBWC, el principal aspecto de este acuerdo fue el compromiso estadounidense para construir una planta desaladora cerca de Yuma, Arizona y un canal para transportar la sal, ambos países se comprometieron a consultar al otro antes de llevar a cabo nuevos proyectos sobre el agua que pudieran afectar a la otra parte, pero no es claro si la planta desaladora resolverá completamente el problema mexicano; la Presa Imperial, donde se almacena el agua, tiene actualmente su propio problema de salinidad.

Así como Estados Unidos puede ser enjuiciado por los retardos imprevistos en el trato del problema del contenido salino de las aguas del Río Colorado proporcionadas a México asimismo, México puede ser criticado por contaminar aguas en Estados Unidos por medio de sus métodos de disposición de desperdicios y un manejo inadecuado del drenaje, la mayor preocupación en relación con la calidad de las aguas de superficie concierne a los Valles del Río Bravo y del Río Tijuana

El Río Bravo está siendo contaminado por la descarga creciente de aguas negras de una población en aumento de ambos lados de la frontera, la disposición de las aguas negras y los problemas relacionados con la contaminación del agua que resultan de un tratamiento inadecuado, han llegado a ser una fricción considerable en las relaciones entre los dos países

El problema del drenaje que más atrae la atención ha sido el de Tijuana, partes de la ciudad carecen de servicio de drenaje y las aguas negras corren montaña abajo a través de la frontera y entran al Río Tijuana y desde éste hasta el Océano Pacífico, la gran cantidad de bacterias resultante a menudo obliga a las autoridades del lado americano a cerrar las playas, este problema fue materia de numerosas reuniones a través de muchos años, tanto a nivel local como entre autoridades de los dos gobiernos federales, y se convirtió en tema principal en 1984, cuando México solicitó un préstamo del Banco Interamericano de Desarrollo a fin de expandir el sistema de aplicación y distribución de agua y duplicar la capacidad del sistema colector de drenaje de Tijuana, el acuerdo de julio de 1985 bajo el cual México se comprometió a construir, por etapas un sistema de tratamiento en gran

escala para las aguas de desecho en Tijuana, debería eventualmente resolver el problema, el monitoreo de este acuerdo se llevará a cabo a través de la IBWC

El asunto más crítico sin resolver en relación al agua es la tasa de utilización y contaminación potencial de las aguas subterráneas, la IBWC, con la autoridad legal mínima en este campo, ha hecho recomendaciones para resolver los problemas sanitarios, pero el problema general permanece sin solución, un experto legista norteamericano ha señalado las deficiencias y diferencias entre las leyes referentes a las aguas subterráneas de cuatro estados fronterizos estadounidenses, indicando que "todos esos estados tienen un sistema legal diferente sobre aguas subterráneas, ninguno tiene una legislación adecuada o reglamentaciones para la protección y administración de disminución de abastecimientos en el estado y a lo largo del área de la frontera, más allá de esto como indica Utton, la competencia internacional sobre mantos acuíferos divididos por la frontera está en gran medida indefinida, el denomina a la situación legal e institucional "caótica"

El agua subterránea proporciona cerca del 40% del agua para irrigación y 80% para todo uso en las áreas rurales norteamericanas, los mayores usuarios no son los estados de la frontera y existe evidencia incontrovertible que las aguas subterráneas están usándose a mayor velocidad que aquella en la que pueden ser reemplazados, un artículo en *Economist* ha indicado que partes del oeste de Texas bajo la porción seca del manto acuífero Ogallala son ya pozos secos, la excesiva extracción de un manto acuífero puede conducir asimismo, a la saturación del agua remanente con sales dañinas, dejándolo sin utilidad, los acuíferos pueden ser asimismo, contaminados por sustancias provenientes de fertilizantes y pesticidas, filtraciones de tanques para almacenamiento subterráneo de gasolina y por depósitos de desperdicios peligrosos

Como ha indicado un experto "las aguas subterráneas almacenan contaminación y el proceso es a menudo irreversible" Los datos para determinar la extensión de la contaminación de esas aguas generalmente son inexistentes, pero el problema es real y aumenta cada día en regiones tales como el área de las ciudades gemelas de El Paso y Ciudad Juárez, las aguas subterráneas son la principal fuente para el consumo humano en esta área y los estudios indican que ambas ciudades extraen el agua a una mayor velocidad en que el manto acuífero, El Bolsón Hueco, es recargado, debido al temor de que pronto el agua sea inadecuada para el consumo humano, El Paso solicitó permiso en 1980 para perforar pozos en el Bolsón Mesilla en Nuevo México, mismo que hasta la fecha no ha sido concedido, México es obviamente parte interesada en esta disputa interestatal de Estados Unidos.

¹La literatura especializada, escrita por técnicos y no por políticos dados a exagerar, esta llena de predicciones catastróficas en caso de que una acción correctora no se tome rápidamente, las recomendaciones de los expertos mencionan la necesidad de compilar una información hidrológica más completa, practicar la conservación, establecer prioridades de distribución y diseñar una administración conjunta de las aguas subterráneas divididas por la frontera internacional

* Caótica al glosario

II.2 DISPONIBILIDAD DE AGUA

La historia hidráulica del Valle de México presenta una paradoja “la lucha por el agua y contra el agua”, que se ha venido librando desde la fundación en 1325 de la Gran Tenochtitlán por los Aztecas, en ese entonces el Valle de México poseía una gran riqueza hidráulica y las aguas fluían de abundantes manantiales. Desde entonces se tuvo la necesidad de construir obras tanto para el abastecimiento de agua a los centros de población, como obras de defensa contra inundaciones que periódicamente assolaban la región.

Así, tenemos que para el abastecimiento de agua potable, al Acueducto de Chapultepec construido por Nezahualcōyotl, destruido por los españoles y vuelto a construir por ellos mismos, siguieron con el tiempo entre otros, los de Atexcoac, Xancopinca, Acuecuécatl, El Sitio, Tlaxpana, Guadalupe, La Verónica, Los Remedios y Xochimilco con los que se fue aprovechando el recurso de zonas cada vez más lejanas para atender las necesidades de una población siempre creciente, hasta llegar a la época moderna en la década de los 40s, cuando ante el agotamiento de los manantiales se incrementó la sobreexplotación del acuífero del Valle de México.

En cuanto a las obras de defensa contra inundaciones cabe recordar que al ser la del Valle de México una cuenca cerrada, padecía de constantes inundaciones provocadas por las lluvias torrenciales, construyéndose en su época el albarradón de Nezahualcōyotl para defender a la Ciudad de Tenochtitlán. Posteriormente, ya durante la Colonia se realizaron obras de protección de diques, calzadas y puentes, que no fueron suficientes dando origen en la época independiente la construcción del Tajo de Nochistongo, en la posrevolucionaria al Gran Canal del Desague con los túneles de Tequixquiac y ya en la actual, el moderno Sistema de Drenaje Profundo.

La República Mexicana está formada por 37 Regiones Hidrológicas y en la Región Hidrológica No 26 “Río Pánuco”, se ubica la cuenca del Valle de México, situada en el extremo sur del altiplano, tiene una superficie de 9600 kilómetros cuadrados, de la cual solamente alrededor del 30% es plana y situada a una altura media de 2,240m s n m.

La precipitación media anual es del orden de los 705mm, concentrados en cuatro meses del año, de los cuales el 80% se evapotranspira, el 11% se infiltra en el subsuelo y del 9% restante, una pequeña parte es regulada para su aprovechamiento y al resto se le da salida por el sistema general de drenaje para evitar inundaciones.

Dentro de la Cuenca y en la parte más baja del Valle, se localiza la zona Metropolitana de la Ciudad de México, en 1910 la mancha urbana ocupaba una superficie de tan solo 26.65Km² la cual se ha extendido en un continuo urbano de aproximadamente 1300 kilómetros cuadrados ocupado por el Distrito Federal y 27 municipios conurbados del Estado de México, urbanización que ha reducido las zonas de recarga natural del acuífero, alterando el funcionamiento de los cauces provocando la torrencialidad de las corrientes y

con ello las inundaciones y ha impedido la posible localización de sitios adecuados para la regulación de avenidas y aprovechamiento del agua de lluvia.

En esta zona se asienta una población que hoy en día supera los 17.6 millones de habitantes, concentrándose en ella un alto porcentaje de los empleos de la industria manufacturera nacional y del sector comercial, situación que provoca una demanda de agua potable siempre creciente, y al carecer de corrientes superficiales importantes, se ha originado a través de los años una severa sobreexplotación del acuífero del Valle de México, equivalente al doble de la recarga natural, la que desde mayo de 1982 no se ha incrementado gracias a la importación de agua potable de cuencas externas al Valle de México, mediante el Sistema Lerma y actualmente con la operación del Sistema Cutzamala.

Para atender las necesidades tanto de agua potable, como el desalojo de aguas residuales y pluviales, la cuenca del Valle de México se apoya directamente de tres cuencas externas la de Cutzamala le aporta agua potable en $14.43 \text{ m}^3/\text{s}$, la de Lerma con $5.87 \text{ m}^3/\text{s}$. Dentro de la cuenca Valle de México se genera en promedio agua clara $52.14 \text{ m}^3/\text{s}$ para los usos urbano, industrial, de comercio y agropecuario y se reusan en promedio $9.89 \text{ m}^3/\text{s}$ de aguas residuales y pluviales, la Cuenca del Río Tula le recibe en promedio $46.48 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ante esta problemática hidráulica, son diversas las acciones que el Gobierno Federal, a través de la Comisión Nacional del Agua y los Gobiernos del Distrito Federal y Estado de México realizan para atender el suministro de agua en bloque para cubrir los incrementos en la demanda, efectuar su distribución mediante la ampliación y mejoramiento de la infraestructura a los crecientes núcleos de población, mejorar los niveles del servicio actual, reducir las aguas y renovar las redes de distribución, algunas de las cuales han operado desde principios de siglo y, sobre todo, fomentar una conciencia ciudadana que reconozca el valor real y lo limitado del recurso.

En materia de agua potable y agua clara para riego agrícola, la cuenca del Valle de México recibe en promedio un abastecimiento de $72.44 \text{ m}^3/\text{s}$, de los cuales el 70.35% ($50.96 \text{ m}^3/\text{s}$) proviene del subsuelo del Valle de México mediante la explotación de 3800 pozos profundos para uso urbano, industrial y agropecuario, el 28.02% de fuentes externas, $20.30 \text{ m}^3/\text{s}$ ($14.43 \text{ m}^3/\text{s}$) del sistema Cutzamala, que también atiende parte del suministro a la ciudad de Toluca ($0.641 \text{ m}^3/\text{s}$, no se suma) y $5.87 \text{ m}^3/\text{s}$ del sistema Lerma, y el restante 1.63% ($1.18 \text{ m}^3/\text{s}$) de aprovechamientos superficiales (Presa Madín, Río Magdalena y manantiales) dentro del propio Valle.

De estos $72.44 \text{ m}^3/\text{s}$, la Comisión Nacional del Agua proporciona $23.18 \text{ m}^3/\text{s}$ (13.36 al D D F; 9.63 al Edo de México y 0.19 al Edo de Hidalgo). Cabe mencionar que recientemente la Comisión Nacional del Agua transfirió 169 pozos, 84 al D D F; 68 al Estado de México y 17 al Estado de Hidalgo que suministran en conjunto un promedio de $7.04 \text{ m}^3/\text{s}$. El Gobierno del Distrito Federal proporciona $24.43 \text{ m}^3/\text{s}$, los Gobiernos de los Estados de México e Hidalgo 15.53 y 1.93 respectivamente, 2.34 son explotados por particulares para usos industriales y $4.93 \text{ m}^3/\text{s}$ para uso agropecuario.

En el Distrito Federal el 98% de la población cuenta con el servicio de agua potable mediante tomas domiciliarias y el 2% restante se abastece por medio de carros tanque.

En los municipios conurbados que conforman la zona Metropolitana de la Ciudad de México, la cobertura alcanza el 90%, el resto se abastece mediante hidrantes públicos y carros tanque. La disponibilidad de agua está compuesta por el escurrimiento superficial y el agua del subsuelo. Esta última se integra por la recarga natural renovable y la inducida por la infiltración en zonas de riego principalmente

La temporalidad de la lluvia y los escurrimientos no permiten aprovechar el recurso de acuerdo a las demandas, por lo que se ha construido infraestructura para almacenamiento y regulación. A esta capacidad se agrega la de los cuerpos de agua naturales

El agua se aprovecha en diversos usos que se diferencian por ser consuntivos* y no consuntivos, los primeros impactan en la disponibilidad porque aprovechan el agua y sólo retornan una parte de ésta; los no consuntivos, como el uso en generación hidroeléctrica, retornan la totalidad del agua aprovechada.

La variación de la lluvia a lo largo del año y su distribución espacial, aunada a la desigual distribución de la demanda, generan problemas de escasez que se agravan por la baja eficiencia con que se usa el recurso. Por otro lado, la infraestructura hidráulica no se aprovecha plenamente debido a que se encuentra inconclusa, se opera con deficiencia, o falta mantenimiento.

Además, las sequías han impactado considerablemente el abastecimiento de agua a las poblaciones, la agricultura y la generación de electricidad. El norte del país es la zona más afectada por estos fenómenos. También se presentan problemas por exceso de agua generados por fenómenos meteorológicos externos, que originan grandes escurrimientos que al no poder ser regulados y almacenados, originan inundaciones

Por otra parte, se generan diferencias en la disponibilidad del agua a lo largo del territorio porque la contaminación de los cuerpos de agua limitaba algunos de los usos. La contaminación afecta tanto al agua superficial como al agua subterránea y disminuye notablemente la disponibilidad determinada en los balances volumétricos, ya que en muchos casos existirá el recurso pero no podrá utilizarse por su mala calidad, la disponibilidad de agua se concentra principalmente en el sureste del país donde la densidad de población y la demanda de agua son bajas

En contraste en el centro, norte y noroeste donde la densidad de población es mayor y las demandas son altas, el agua es escasa. Los balances hidráulicos realizados a nivel de cuenta hidrológica muestran un panorama más realista sobre la disponibilidad del agua, pero se requieren estudios más detallados para el conocimiento de situaciones puntuales.

* Consuntivos al glosario.

Es conveniente señalar que el conocimiento de los recursos hidráulicos del país aún es insuficiente debido, por una parte, a la extensión del territorio, y por la otra a la propia naturaleza del agua, que obliga a medirla en diversas fases del ciclo hidrológico, en cantidad y calidad. Además de la demanda del recurso se genera por cientos de miles de usuarios, con problemas específicos y puntuales.

Bajo estas consideraciones, la integración nacional de la disponibilidad y uso del agua, así como de los problemas derivados de la distribución de la población y la actividad económica, parten de análisis regionales que reúnen cuencas con características similares.

II.3 ASENTAMIENTOS DEL VALLE

El área urbana del Valle de México, concentrada en su mayor parte en el Area Metropolitana de la Ciudad de México, ha sufrido hundimientos regionales desde finales del siglo pasado debido a la explotación del agua subterránea efectuada por medio de pozos para abastecer a sus habitantes.

Por lo que respecta al hundimiento mismo, se sabe que la causa son las extracciones, se conocen la evolución de los hundimientos y en parte las evoluciones piezométricas y no se cuenta con información cuantitativa confiable sobre la causa misma para poder interpretar adecuadamente el fenómeno y poder efectuar predicciones confiables respecto a la evolución del mismo, siendo esto lamentable porque el hundimiento de la Ciudad de México es uno de los fenómenos de hundimiento más conocido a nivel mundial, y en algunos aspectos más documentado.

Ciertamente poder predecir el hundimiento de una ciudad es muy importante, aunque en el caso de la Ciudad de México lo más importante ahora es suspender definitivamente el hundimiento, de acuerdo con la única estimación existente sobre el hundimiento total posible dentro de la ciudad, éste puede llegar a ser de 20m o sea que el hundimiento potencial es más del doble del que ha ocurrido hasta la fecha y el costo que esto implica, puede ser mejor aplicado, la demanda actual de agua potable en el Area Metropolitana es del orden de $48\text{m}^3/\text{s}$ y crece a razón de $2\text{m}^3/\text{s}$ por año.

La recarga total de los acuíferos del Valle de México se ha estimado en unos $25\text{m}^3/\text{s}$ y actualmente se importan alrededor de 12 a $13\text{m}^3/\text{s}$ del Alto Lerma, teniéndose como resultado una sobreexplotación global de los acuíferos del Valle del orden de $10\text{m}^3/\text{s}$, dicha sobreexplotación no puede seguir indefinidamente, las consecuencias están a la vista (hundimiento de la ciudad, aparición de grietas en el Municipio de Naucalpan, intrusión salina en la periferia del Lago de Texcoco, degradación de la calidad del agua subterránea en gran parte del Valle, desperdicio de recursos económicos en la explotación del agua subterránea por el rápido descenso de los niveles estáticos de la misma, problemas sociales que derivan del abastecimiento de pozos particulares y municipales, etc)

El Valle de México ha rebasado ya el límite de sus recursos hidráulicos y si no se frena el crecimiento de su población, lo cual es poco probable, o se disminuye la misma, lo cual es aún más improbable, debe traerse agua de otras cuencas para suplir el déficit actual y el crecimiento futuro de la demanda, el costo de lo anterior puede parecer elevado, pero resulta más elevado el demorar la solución del problema mediante medidas transitorias que pueden tener un costo social del mismo orden de magnitud y que exigen, de todas maneras, la adopción final de una solución definitiva

Un problema muy severo provocado por la extracción del agua del subsuelo, ha sido el hundimiento del terreno constituido por material compresible, el origen de los hundimientos en la Ciudad de México, según el Dr. Nabor Carrillo (1947), se debe a la pérdida de presión en el acuífero semiconfinado ocasionada por el bombeo, provocando

cambios en el estado de esfuerzos efectivos y motivando un proceso de enjuntamiento y así consolidándose el paquete lacustre del subsuelo

Las primeras observaciones de los hundimientos y sus consecuencias tales como agrietamientos, inestabilidad de las construcciones en general, de las redes de agua potable y drenaje, datan desde 1981, pero la fecha más antigua que se conoce es la de Alexander Von Humbolt de 1803, que al describir el Valle indica que el nivel de aguas medias en el Lago de Texcoco estaba 1.20m abajo de la esquina sur del Palacio Nacional, además señala que por orden creciente de altitud, la Ciudad de México le seguía al fondo del citado lago, pero resultaba más baja que el Lago de Xaltocan

En 1910 el nivel del Lago de Texcoco, que regulaba las aguas del gran Canal del Desagüe, se encontraba a 1.90m por debajo del centro de la Ciudad de México; 60 años después el hundimiento había sido tal, que el Lago de Texcoco ya se encontraba 5.50m por encima del centro de la Ciudad, a partir de 1953 la extinta Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México (SRH)^{*}, toma a su cargo la observación periódica y actualmente el Departamento del Distrito Federal

De 1891 a 1970, en la torre oeste de la Catedral y en la Alameda Central, se registraron asentamientos de 6 00 y 7 00m respectivamente y de 1970 a 1985 los asentamientos en Chalco, Xochimilco y Tláhuac fueron hasta de 2 50m

De 1986 a 1994 la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal dio a conocer que las zonas más afectadas por el hundimiento, son las áreas comprendidas entre

- Delegaciones Venustiano Carranza e Iztacalco y Ciudad Nezahualcóyotl
- Xochimilco y Tláhuac Ambas con hundimientos de 15 a 25cm por año.

Otro problema derivado de la explotación intensiva del agua de los acuíferos, es que en algunas zonas aparecen grietas que para proteger las estructuras, se procede a reducir el bombeo relocalizando los aprovechamientos subterráneos a zonas de menor sobreexplotación, labor conjunta entre el Departamento del Distrito Federal, Gobierno del Estado de México y la Comisión Nacional del Agua, que ha permitido la recuperación de los niveles piezométricos en zonas críticas, mediante el intercambio de aguas de pozos profundos por aguas importadas de aguas de las cuencas externas del Sistema Cutzamala y Sistema Lerma, es una muestra de lo que puede lograrse al reducir la extracción de agua subterránea.

* Extinta al glosario.

II.4 SOBRE EXPLOTACIÓN DE ACUÍFEROS

La recarga natural promedio de los acuíferos es de 48Km^3 anuales, que sumada a la recarga inducida en zonas de riego, que se estima del orden de 15Km^3 , resulta en una recarga total igual a 63Km^3 .

Se han identificado en el país 459 acuíferos, para los que se estima una extracción total de 24Km^3 anuales a través de aproximadamente 140 mil aprovechamientos subterráneos, se han detectado problemas de sobreexplotación en 80 acuíferos ubicados principalmente en las regiones noroeste, norte y Lerma-Balsas. La distribución de agua subterránea y de los acuíferos sobreexplotados se muestra a nivel nacional en la figura 2.4.1

Los resultados de los balances geohidrológicos por región administrativa se presentan en el cuadro 2.4.2.

La sobreexplotación ha inducido problemas de intrusión marina en los siguientes acuíferos: San Quintín, Maneadero, San Vicente, San Rafael, San Telmo, Vicente Guerrero y Camalú, en el Estado de Baja California, Santo Domingo, San José del Cabo y La Paz, en Baja California Sur, Caborca, Hermosillo y Guaymas, en el estado de Sonora; y en Veracruz, Ver. Asimismo, han aumentado los problemas por concentración de sales en los acuíferos del Valle del Guadiana en Durango, Valle de Aguascalientes, y la Región Lagunera. Por otra parte, las descargas de agua residuales, han contaminado los acuíferos localizados en los valles de Aguascalientes, San Luis Potosí, Mezquital en Hidalgo; León, Celaya y Salamanca, en Guanajuato, y Mérida, Yucatán, entre otros.

La gran demanda y extracción que tiene el agua en las zonas metropolitanas del país es una de las situaciones más serias a tratar. La forma más común de suministrar el líquido vital es extraerlo de los pozos y de caudales superficiales, según la zona geográfica que se trate.

Sin embargo, uno de los grandes dilemas que surgen son las recargas en los mantos acuíferos ya que la cantidad de medio de bombas de extracción para suministrar a las poblaciones, no es proporcional a la recarga de los mantos, el almacenamiento en éstos se lleva a cabo por medio de un proceso lento, en donde partículas de agua de la superficie se van filtrando hasta el subsuelo.

La calidad del agua en los acuíferos es en general buena, sin embargo, se estima que por el manejo inadecuado de su explotación se ha inducido la degradación de su calidad (concentración de sales y contaminación por aguas residuales). Los principales acuíferos con problemas de este tipo se presentan en el Valle de Juárez, Chihuahua; el Valle de Guadiana, en Durango; y la Región Lagunera en Coahuila y Durango.

Actualmente el 88 % de la población cuenta con el servicio de agua potable y el 76% con el de alcantarillado. En la zona Metropolitana de la Ciudad de México el servicio es

suficiente, salvo en pequeños asentamientos diversos, sin embargo, se requiere importar agua de cuencas vecinas para solventar la demanda por el crecimiento poblacional y coadyuvar a la recuperación de los acuíferos. El saneamiento de las aguas residuales sólo alcanza el 17%.

La escasa disponibilidad de fuentes de abastecimiento impide solventar la demanda para los distintos usos, la contaminación en casi todas las corrientes y cuerpos receptores por la falta de infraestructura de saneamiento de las aguas residuales, impide su adecuada reutilización. La sobreexplotación de los acuíferos, principalmente en la cuenca del Valle de México, se estima en casi el 100% con respecto a la recarga.

La baja eficiencia de los sistemas hidroagrícolas obedece a la falta de recursos para la conservación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura, la escasa disponibilidad del recurso obliga a la utilización del agua residual en el riego, limitando el cultivo de productos para consumo humano que están en contacto directo con el agua. Destaca esta situación en el Valle del Mezquital en el Estado de Hidalgo.

De acuerdo a los estudios y experiencias, las características geohidrológicas de las rocas que conforman a la cuenca del Valle de México, al diferir unas de otras por sus propiedades físicas e hidrológicas, llevan a concluir que los acuíferos existentes en la Ciudad de México, pueden dividirse en freáticos y confinados o semi-confinados, en los primeros el agua proviene generalmente de la infiltración directa de las lluvias, que caen sobre el terreno subyacente y penetran verticalmente hasta el manto, en los confinados o semi-confinados el agua llega al acuífero, principalmente por flujo lateral. Así, los acuíferos pueden agruparse en cuatro tipos básicos:

Acuífero Andesítico (Zona Norte y Poniente) (Roca andesítica, fracturada)

Acuífero Tarango (Zona Poniente) (Formación de depósitos lacustres, cenizas)

Acuífero Aluvial (Zona Centro) (Acarreos de materiales de los ríos)

Acuífero Basáltico (Zona Sur, Sureste) (Roca basáltica, fracturada)

Situación de los acuíferos del Valle de México: se estima una recarga anual de $25\ 00\text{m}^3/\text{s}$ y una extracción de $50.96\text{m}^3/\text{s}$, equivalente al doble de la recarga natural. La construcción del drenaje profundo de la Ciudad de México ha influido también en el abatimiento de los acuíferos, ya que esta obra hidráulica, desde su terminación ha funcionado como dren, deshidratando el suelo en su zona de influencia.

Al estar intercomunicados los acuíferos por fracturamiento, o por sus características litoestratigráficas se han venido realizando recargas de agua residuales tratadas de la Planta Cerro de la Estrella en el Distrito Federal y Modulo Experimental de tratamiento Terciario, en Texcoco, Estado de México.

* Coadyuvar al glosario.

figura 2.4.1
Disponibilidad relativa de aguas subterráneas



Cuadro 2.4.2

Región	Número de Acuíferos	Recarga	Extracción	Disponib.	Acuíferos con más del 20% de Sobreexp.
Noroeste	149	5.10	5.01	0.09	20
Norte	86	4.87	5.00	-0.13	20
Noreste	61	1.65	1.45	0.20	17
Lerma-Balsas	92	8.16	7.40	0.75	19
Valle de México	26	1.96	3.09	-1.13	3
Sureste	45	40.80	1.99	38.82	1
Nacional	459	62.39	23.93	38.60	80

Programa hidráulico 1995 - 200.

Cabe destacar que en un análisis por zonas, la que presenta los más altos índices de sobreexplotación son las áreas que comprende el Distrito Federal y los municipios conurbados de Naucalpan, Tlalnepantla, Atizapan de Zaragoza y Ecatepec.

NOTA: Desde mayo de 1982 la sobreexplotación no se ha incrementado gracias a la importación de agua potable de cuencas externas del Valle de México, mediante los Sistemas Lerma y Cutzamala.

ACCIONES PARA CONTROLAR Y DISMINUIR LA SOBREEXPLOTACION DE LOS ACUIFEROS

- Uso eficiente del agua para reducir consumos.
- Intercambio de aguas blancas por aguas residuales tratadas en actividades que no requieran de la calidad potable.
- Cancelación de pozos en sitios determinados como de alto riesgo por contaminación o agrietamiento del terreno
- Cancelación de pozos irregulares.
- Sustitución paulatina de aguas subterráneas por agua provenientes de fuentes externas.

Para conocer mejor las características y el comportamiento de los acuíferos del Valle de México, se han realizado diversos estudios como censos de pozos, muestreos de agua subterránea, análisis físico-químicos y bacteriológicos, nivelaciones topográficas, programas de sondeos de niveles piezométricos, sondeos geofísicos, estudios geológicos, etc., para tales efectos la cuenca se dividió en zonas.

En el último censo de aprovechamiento subterráneo, en 1991, se observó que el acuífero se explota principalmente a través de 4,320 unidades en operación:

Uso	No. de pozos	Gasto (m ³ /s)
Público urbano	1,636	40.0
Industria	1,495	4.5
Agropecuario	1,189	6.5
Total	4,320	51.0

C.N.A. Programa del lago de Texcoco.

Las observaciones de piezometría en los últimos años en diferentes pozos han permitido establecer las siguientes condiciones:

En la parte sur el acuífero se recarga a través de la Sierra del Chichinautzin, con dirección de sur a norte; al suroeste y al poniente por la Sierra de las Cruces, Monte Alto, Monte Bajo, Tezontlalpan y Pachuca en dirección oeste-este; en la zona comprendida entre Pachuca y Tizayuca el flujo va en sentido norte-sur y converge a la región de Cuautitlán;

ACUIFEROS

-  ACUIFERO BASALTICO
-  ACUIFERO ANDESITICO
-  ACUIFERO TARANGO
-  ACUIFERO LAGUSTRE-ALLUVIAL
-  ACUIFERO DE TRANSICION

17 30'-

17 15'-



S I M B O L I G I A

-  LIMITE DEL DISTRITO FEDERAL
-  AVENIDAS O CALLES
-  RIOS O CAVALES
-  CERROS Y VOLCANES
-  EMPOBOSOR SOLAR
-  LAGOS O PRESAS
-  PARTI AGUAS



LOCALIZACION



ESCALA GRAFICA

107° 15' 17° 00'

Sustitución paulatina de aguas subterráneas, por aguas provenientes de fuentes externas

por el oriente la recarga tiene dirección preferencial sureste-noreste; en Otumba-Teotihuacán toma el sentido noreste-suroeste y en la región de Texcoco en dirección este-oeste.

Los valores promedio de profundidad del nivel estático y de abatimiento en las distintas zonas del Valle de México, durante la piezometría efectuada en 1991, mostraron un valor promedio de abatimiento de un metro por año.

Zona	Profundidad promedio del nivel estático (en m)	Abatimiento anual promedio (en m)
Ciudad de México	57.5	1.0
Chalco	46.5	1.0
Xochimilco-Tláhuac	59.0	1.3
Texcoco	47.0	1.0
Cuautitlán	58.0	1.5
Tizayuca-Pachuca	86.0	1.0
Apan	60.0	0.1

C.N.A. Programa del lago de Texcoco.

Se puede concluir que las zonas con mayor desequilibrio corresponden a la región de Cuautitlán y a la de Tláhuac, al norte y al sur de Distrito Federal respectivamente. Por otro lado, es factible considerar que la única zona en equilibrio es la de Apan.

Existen regiones donde el agua subterránea no cumple las normas de la Secretaría de Salud para agua potable, se debe a la sobreexplotación y al tipo de los acuíferos. Uno de los indicadores al respecto es la presencia de boro, característico de las aguas magmáticas, las cuales ocupan un volumen pequeño en comparación con las aguas meteóricas y se alojan en acuíferos profundos, en algunas muestras se observaron contenidos de boro, o sea que el agua que se extrae es una mezcla de aguas meteóricas y magmáticas.

Otro indicio de la sobreexplotación del acuífero es el alto contenido de sales en el agua extraída, fenómeno propio de las aguas fósiles, que debido al largo tiempo que llevan infiltradas al subsuelo, han reaccionado con elementos alcalinotérreos y alcalinos, como el sodio, potasio y amonio; este último elemento genera mayores problemas por su olor desagradable, aunque éste puede presentarse por la contaminación de estratos superiores del suelo.

La sobreexplotación del acuífero del Valle de México ha obligado a establecer al veda desde 1954, uno de los problemas más importantes y costosos en ese sentido ha sido el hundimiento del suelo en la Ciudad de México, el cual se conoce desde 1925; en el período 1973-1986 el hundimiento promedio fue de 8cm/año, sin embargo, en algunas zonas es mayor, por ejemplo Xochimilco y Mixquic, donde se tienen hundimientos hasta de 40cm/año.

ALTERNATIVAS DE REUSO

III ALTERNATIVAS DE REUSO.

El sistema está provisto de dos bombas. Una bomba vertical de acero inoxidable de alta presión de multipasos para alimentación al sistema y otra centrífuga horizontal de acero inoxidable, para el retrolavado se sugiere tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Nunca operar en seco las bombas sin suficiente agua, pueden sufrir daños y esto cancelaría la garantía
- Siempre alimente las bombas con agua filtrada, los sedimentos o partículas extrañas pueden reducir la eficiencia del equipo perdiendo carga y además causar daños a la misma.
- Las bombas están protegidas con interruptores de baja y alta presión. Sin embargo, se recomienda verificar el correcto funcionamiento de estos así como revisar si los valores de corte son los adecuados

El siguiente procedimiento deberá realizarse para asegurar la adecuada operación del equipo

1. Conecte la manguera de alimentación de agua al equipo (línea 1), al tanque o fuente de abastecimiento de tal manera que permita el libre flujo del líquido, evite reducciones o restricciones, asegúrese que la instalación permita el libre flujo de agua así como en cantidad suficiente, si se conecta directamente a un tanque asegure de que el nivel de agua sea suficiente y que nunca baje de la línea de succión de la bomba
2. Conecte las líneas de recirculado de alimentación (línea 2) al tanque de alimentación o conecte a la línea de abastecimiento
3. Conecte las líneas de recirculación de concentrado al tanque correspondiente
4. Conecte la línea de permeado al tanque de permeado, asegure de que no exista ningún bloqueo y que este libre la línea, si se llega a cerrar esta línea puede dañar seriamente las membranas.
5. Antes de arrancar el sistema purgue los prefiltros oprimiendo los botones rojos que se encuentran en la parte superior de cada elemento, permita que salga el aire, en el momento que salga agua por el botón termina el purgado, lo anterior permitirá que se llenen los recipientes de los filtros con agua
6. Abra completamente las válvulas de control y de ajuste, verifique que las válvulas de alimentación a cada elemento o membrana estén abiertas, abra un 50% de la válvula de recirculación de alimentación y completamente la válvula de salida de la bomba de alta presión (B1), cierre la válvula de salida de retrolavado

7. Conecte el cable de alimentación principal del tablero a la fuente de abastecimiento, inserte el tomacorriente al módulo de alimentación del tablero, verifique antes de hacer lo anterior que el interruptor principal tanto del tablero como de la fuente de abastecimiento estén abiertos
8. Cierre los interruptores y oprima el botón de arranque, permita que el equipo funcione de esta manera durante tres minutos hasta que se normalicen las presiones y los flujos.
9. Cierre las válvulas de recirculación de alimentación hasta alcanzar la presión requerida, cierre la válvula de control y la de ajuste hasta alcanzar el flujo nominal de operación en los rotamientos correspondientes, el proceso de estabilización puede durar algunos minutos.
10. Deseche el permeado durante 15 minutos antes de ser almacenado, lo anterior es para permitir que las membranas se laven y eliminen los productos que sirven como preservativos
11. Ajuste las protecciones de presión.
12. Conecte la línea de permeado al tanque correspondiente
13. Asegure de que cuando el equipo esté fuera de operación no exista flujo
14. El equipo está diseñado para operar durante largos periodos de tiempo continuos, en caso de que se requiera operar solo por periodos cortos, será necesario proceder a retrolavar las membranas con permeado para evitar que se ensucien se requiere parar el equipo periodos largos se recomienda aplicar un preservativo a las membranas.

En operación normal las membranas pueden llegar a ocluirse o ensuciarse con depósitos minerales, materia orgánica, partículas coloidales u otros contaminantes, lo anterior afecta en la cantidad de flujo de permeado o alta-baja presión, cuando el flujo ha bajado un 20% del flujo inicial, bajo las mismas condiciones de operación, es indicio que es necesario realizar un lavado de las membranas

La limpieza del sistema permitirá restablecer las condiciones iniciales de flujo de producto y prolongar la vida útil de los componentes del mismo, la frecuencia de lavado dependerá de la calidad del agua de alimentación, la cual ha sido tratada previamente con algún pretratamiento, dentro de esta actividad se deberá anotar cuando y cuantas veces se retrolavó la unidad, se limpiaron los filtros o se suspendió la corrida y por que causas

Los datos obtenidos durante la evaluación deberán ser graficados e interpretados, buscando correlaciones entre cada variable, esta actividad puede realizarse cada día o cuando los datos indiquen una variación significativa

El objetivo de esta actividad es el de recolectar la mayor cantidad de datos sobre el comportamiento del equipo durante el proceso de evaluación, los datos sobre la caída de presión, cantidad de agua tratada, tiempo de operación continua, frecuencia de retrolavado, consumo de energía, calidad obtenida contra calidad de entrada, permitirá el implementar adecuaciones o cambios en el proceso para aumentar la eficiencia del mismo, además de calcular la eficiencia, nos permitirá calcular los costos de operación y de mantenimiento en este tipo de equipos

Retrolavado con agua es el proceso más sencillo en donde se pueden recuperar fácilmente las condiciones iniciales, este proceso es como sigue

- Se deberá alinear la bomba B2 al tanque de permeado, se cierran las siguientes válvulas: válvula de alimentación de alta presión, válvulas de control y de ajuste, se abren la válvula de alimentación a bomba B2, la válvula de recirculación de bomba B2, la válvula de salida de retrolavado.
- Este proceso se deberá realizar para cada membrana en forma independiente, por lo tanto se deberán cerrar las válvulas de cada membrana que no recibirán la limpieza

Limpieza y recuperación de las condiciones iniciales de operación, cada ocasión que el equipo reciba una limpieza, se deberán anotar las condiciones de esta etapa, presión, caudal características del agua resultante del lavado y caudal de inicial de operación después de la limpieza

El proceso de nanofiltración es un proceso de separación física y por lo tanto, conforme va realizando su trabajo va ensuciándose reduciendo gradualmente el flujo de agua tratada por lo tanto, la actividad de limpieza se considera como parte de la operación normal del equipo y se tendrá que realizar cuando sea necesario

En algunos casos es necesario el preparar el agua de alimentación antes de que sea introducida al equipo, el pretratamiento eliminará o reducirá los parámetros que puedan dañar o reducir la eficiencia del equipo además el seleccionar adecuadamente el pretratamiento favorece la reducción de los costos de operación y mantenimiento

La filtración por membrana es un proceso físico que se ve alterado en su funcionamiento por contaminarse o taparse con materiales presentes en el agua, los sólidos suspendidos y las grasas y aceites, son los principales agentes reductores de eficiencia en la operación de un sistema de filtración por membrana. Por lo anterior, si el agua a tratar contiene un alto contenido de estos agentes, es recomendable emplear un pretratamiento adecuado para evitar futuros problemas

A continuación se mencionan los principales pretratamientos que pueden ser aplicados:

GRUPO A.- Cribado y sedimentación natural

GRUPO B.- Filtración en multimedia

GRUPO C.-Filtración por membrana

GRUPO D.-Precipitación química

Los primeros tres grupos son los más empleados ya que eliminan o reducen el riesgo de daño al equipo, el grupo cuatro, solo es empleado cuando se requiere eliminar contaminantes peligrosos

La siguiente sección proporciona una breve descripción de las actividades recomendadas que deben ser incluidas durante la ejecución del programa de evaluación de este proceso

1. Análisis del agua de alimentación y agua tratada
2. Corrida inicial de prueba
3. Verificación de la corrida
4. Desempeño del equipo
5. Limpieza
6. Interpretación de datos
7. Reporte final

El objetivo del análisis del agua de alimentación y agua tratada, es obtener datos sobre los parámetros críticos que afectarán química, biológica y físicamente el proceso del tratamiento del agua

Los métodos analíticos y muestreos a emplearse deberán ser los aceptados por las autoridades competentes como la AWWA, las condiciones del laboratorio deberán cumplir con los más altos estándares de precisión y confiabilidad y el personal deberá ser altamente capacitado.

Los parámetros específicos necesarios para caracterizar el agua dependerán del objetivo (uso) que se le dará al agua tratada, pero los siguientes son parámetros necesarios que deben cumplirse:

GRUPO 1.- Temperatura, pH, turbidez, color y conductividad

GRUPO 2.- Coliformes totales, bacterias

GRUPO 3.- Nitrógeno total, fósforo y amonía

GRUPO 4.- Dureza, fierro y manganeso

Los parámetros de estos grupos ilustrarán las variaciones de la calidad del agua en diferentes periodos del año, asimismo, permitirá proyectar el comportamiento del equipo bajo esas condiciones.

La realización de otros parámetros que se consideren importantes, se deberán definir antes de iniciar la corrida inicial de prueba asimismo, se deberá definir la frecuencia de los mismos, la cantidad de parámetros a realizar y la frecuencia de los análisis permitirá con mucha anticipación el preparar al laboratorio con suficientes reactivos y personal para no

causar retrasos en la evaluación, el tener errores durante la caracterización del agua o durante el proceso de evaluación podría ocasionar una inapropiada calificación del comportamiento del equipo evaluado, por lo tanto el poner una especial atención a esta actividad puede resultar en un acierto o éxito del programa de evaluación.

Durante la corrida inicial se realizarán los ajustes correspondientes a caudales y presiones asimismo, las condiciones del pretratamiento seleccionado, la corrida inicial de prueba permitirá el realizar los ajustes necesarios para que se logre una base de referencia para la evaluación de los resultados en caso de emplearse un pretratamiento se deberá considerar como parte de la evaluación, los pretratamientos pueden ser cambiados durante la evaluación del equipo, sin embargo, cada cambio de pretratamiento se considerará como una nueva prueba

Cuando se hayan alcanzado los valores de inicio de prueba, se considerará que el equipo está estabilizado y por lo tanto se puede iniciar la evaluación de la corrida.

El equipo de tratamiento de agua deberá ser operado por lo menos 10 días continuos con la finalidad de obtener datos de operación; calidad del agua de alimentación y de producto, frecuencia de limpieza, pérdida de presión y flujo y tasa de recuperación, durante los días que se realice la corrida, se deberán tomar lecturas de los parámetros más importantes tales como: presión de entrada, presión de salida, consumo de energía, flujo de entrada, flujo de reciclado, flujo de producto, flujo de rechazo y temperatura, la toma de muestra de agua de alimentación y de producto y su análisis correspondiente se realizarán de acuerdo a lo establecido previamente

III.1 LEGISLACION AL RESPECTO

De conformidad con el Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000 y en cumplimiento de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, de la Ley de Planeación en sus artículos 14, 15, 16, 17, 19, 22, 23, 24, 26 y 29, y del decreto por el que se crea la Comisión Nacional del Agua (CNA), se elaboró el programa sectorial de mediano plazo denominado Programa Hidráulico 1995-2000

El Programa refleja las opiniones de los diferentes sectores de la sociedad expresadas en los Foros de Consulta Popular y Democrática sobre Política Hidráulica, con los temas de uso urbano e industrial, uso agrícola y la vinculación del agua con el desarrollo sustentable, realizados para la formulación del Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000

Además, el Programa integra estrategias con base en los análisis regionales de las diferentes características hidrológicas, económicas, sociales y ambientales del país.

La planeación de los aprovechamientos hidráulicos del país tradicionalmente se ha realizado desde el punto de vista de la oferta, ya que el gobierno, en su tarea de asegurar la supervivencia del país a largo plazo, ha procurado satisfacer unilateralmente las demandas de la sociedad y actuar en este campo como financiero, constructor y operador de obras hidráulicas para incrementar el aprovechamiento del agua

A medida que la población ha crecido y desarrollado su economía, las demandas de agua han aumentado mientras que la oferta del medio natural permanece invariable, por lo que el manejo del recurso se ha hecho complejo y conflictivo, y se agrava por los fenómenos extraordinarios, como sequías e inundaciones, que demandan mayor regulación e infraestructura para su atención

Lo anterior ha dado lugar a una nueva relación entre gobierno y sociedad, en la cual esta última interviene más en el financiamiento, construcción y operación de las nuevas obras, y el gobierno se convierte en promotor y coordinador del financiamiento, y en agente descentralizador y evaluador de servicios, además de la función normativa que ya desempeñaba.

Con esta perspectiva y dentro del marco de los cambios políticos, sociales y económicos que ocurren en el país, en este documento se analizan las características de la oferta y la demanda del agua para el periodo 1995-2000, para determinar y proponer políticas de aprovechamiento de este recurso que facilitarán a la población acceder a un mejor nivel de vida en lo individual y comunitario, y que de acuerdo a la disponibilidad del agua, su uso y conservación contribuirán al desarrollo regional e integral del país en el corto y largo plazos.

Los objetivos del programa se establecen de acuerdo con las modalidades de utilización del recurso:

- a) Para consumo humano, higiene y cuidado de la salud pública,
- b) En la atención a grupos de población y zonas con mayor pobreza,
- c) En la dotación de servicios para mejorar los niveles de vida y bienestar social;
- d) Como insumo en la agricultura, industria, comercio y demás actividades económicas, y
- e) En el aprovechamiento pleno de los recursos naturales dentro de un marco de sustentabilidad

Con base en lo anterior se establecen los objetivos generales siguientes

- Contribuir a reducir los rezagos y limitaciones en la disponibilidad de agua, que afectan a grupos sociales desprotegidos.
- Avanzar en el saneamiento integral de cuencas, comenzando por aquellas cuya contaminación produce mayores efectos negativos para la salud, la economía y el ambiente.
- Otorgar seguridad jurídica en el derecho al uso de las aguas nacionales y bienes inherentes.
- Contribuir al proceso de transición hacia el desarrollo sustentable mediante la racionalización de los precios del agua, con criterios económicos y ambientales
- Ampliar los canales de participación de la sociedad en la planeación y utilización del agua
- Administrar el recurso de manera más eficiente, a través de la descentralización progresiva y constante de programas y funciones a los usuarios y autoridades locales dentro del marco del Nuevo Federalismo.
- Inducir patrones de utilización del agua más eficientes en riego, uso doméstico, uso industrial, a fin de preservar la disponibilidad y la calidad futura del recurso

Se persigue apoyar a través de la administración adecuada del agua, un crecimiento económico, sostenido y sustentable en beneficio de todos los mexicanos, que propicie un ambiente de equidad, certidumbre y confianza en el aprovechamiento y uso del agua

Se señalan prioridades y metas para frenar los procesos que ocasionan el deterioro actual y cuidar el sistema hidrológico desde el punto de vista de cantidad y calidad, para aprovechar de manera plena y sustentable este recurso

Las acciones del Programa se inscriben en el reto de hacer compatible el crecimiento económico con la protección ambiental, por ello, la nueva política hidráulica va más allá de los aspectos estrictamente regulatorios, y se establece un proceso de promoción e inducción de inversiones, creación de mercados y financiamiento con participación de toda la sociedad, se considera que en algunos casos el Gobierno Federal estará en posibilidades

de ejecutar directamente las acciones de acuerdo a sus atribuciones y recursos presupuestales y en otras ocasiones promoverá la participación de los diferentes sectores de la sociedad y de las instancias del poder público, para que en conjunto realicen las acciones de aprovechamiento y cuidado de los recursos hidráulicos del país

Se estima que el papel prioritario del agua propiciará el crecimiento de la inversión pública, por lo que se dará énfasis al uso eficiente de este recurso, al ejercicio del gasto corriente y la inversión pública con criterios de eficiencia social, y al uso prudente del ahorro externo, para que en este marco de disciplina fiscal, las finanzas públicas no sean un factor de desequilibrio, y por el contrario, en un ambiente nacional de escasez de recursos financieros, contribuyan a impulsar el crecimiento económico y bienestar de la población

Se requerirá complementar la inversión del Estado, con una amplia participación del sector privado en proyectos que favorezcan el uso eficiente del agua y amplíen la cobertura del servicio. En particular se estima necesaria esta participación en los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, donde las inversiones de los próximos años serán muy altas

Las estrategias y políticas para el manejo del agua persiguen satisfacer los requerimientos del medio natural y, a la vez, aprovechar adecuadamente el agua en las actividades agrícola, doméstica, industrial, generación de energía eléctrica, recreación, turismo, acuicultura, pesca y navegación, para favorecer el tránsito al desarrollo sustentable, se reconoce el papel que desempeña el agua, como sostén de los ecosistemas y que la naturaleza demanda y tiene derecho a este recurso en cantidad y calidad, por ello se requiere definir criterios para cuantificar los volúmenes y la calidad del agua que deben existir en el medio natural para asegurar su sustentabilidad

Asimismo, se reconoce el derecho que tienen las futuras generaciones sobre los recursos hidráulicos. Se abordan en forma integral los conceptos de calidad y cantidad del agua, se reconoce que el manejo del agua dulce costera está íntimamente ligado con el ambiente marino, y se toma en cuenta la relación del manejo del agua con el del suelo

El saneamiento integral de cuencas hidrológicas se realizará mediante acciones conjuntas de los sectores públicos y privados, con estímulos fiscales e incentivos económicos, bajo el principio de que el que contamina paga y quien no cumple la norma será sancionado, existen campos, como el sistema hidrológico, agua potable y saneamiento, riego y agua para la industria y generación de energía eléctrica, que han estado atendidos tradicionalmente, por lo que cuentan con programas más avanzados

Otros aspectos como el uso de los cuerpos de agua para fines recreativo y turísticos, la acuicultura, la pesca, la navegación y el medio natural, no se han atendido con igual profundidad, en consecuencia sus programas requieren aun de los trabajos de coordinación y concertación que los dimensionen en el tiempo, en donde el Gobierno Federal tendrá un papel normativo y promotor

Se impulsa la participación del municipio, de los estados, el trabajo conjunto del gobierno con usuarios, y el desarrollo tecnológico, la investigación y capacitación de recursos humanos, con la participación de universidades, tecnológicos, centros de investigación, sociedades de profesionales, organismos no gubernamentales y otras instituciones, mediante una estrategia de descentralización y de participación social, que se inició con la transferencia a los usuarios de la operación de los sistemas y con la realización de los foros de consulta popular, se prevé asimismo, ampliar las oportunidades de participación de particulares, impulsar mayores inversiones en el sector hidráulico e incrementar la eficiencia mediante incentivos económicos que reconozcan el valor del agua en las diferentes zonas del país y que induzcan al cuidado del medio ambiente y la defensa de las futuras generaciones

Se reconoce que es preciso transformar las instituciones y, ampliar y descentralizar los programas de trabajo para responder con mayor prontitud y eficiencia a los requerimientos de la población y del medio ambiente, lo cual se apoyará mediante la formación de Consejos de Cuenca en todo el país, que son foros de concertación entre los órdenes de Gobierno y los usuarios organizados, para atender problemas relacionados con el agua que afectan su entorno

La descentralización contempla la separación de las funciones normativas de las operativas, la transferencia de algunas funciones operativas a los usuarios, realizar la planeación y administración del aprovechamiento del agua de forma integral a nivel de cuenca, manteniendo a nivel federal tanto las funciones que sujetan los intereses regionales al interés de la Nación, como las decisiones que afectan a más de una entidad federativa y a los indefensos, identificados como el medio ambiente y las futuras generaciones; preservando siempre para el Gobierno Federal la facultad y el derecho de intervenir en apoyo de los grupos humanos y comunidades que se encuentran en condiciones de pobreza o afectados por calamidades y desastres. Lo anterior contribuirá al fortalecimiento del federalismo propuesto en el Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000.

III.2 CALIDAD Y CANTIDAD USADA DE AGUA POTABLE DOMESTICA, INDUSTRIAL Y TURISTICA

Los usos del agua se dividen en consuntivos y no consuntivos, se estima que en 1995 la extracción total para los principales usos fue de 186 7Km³, de los cuales 73 5Km³ se destinaron para los consuntivos distribuidos de la siguiente manera: agrícola 61 2, doméstico 8 5, industrial 2 5, acuacultura intensiva 1 3 y los restantes 113.2Km³ se destinaron para la generación de energía hidroeléctrica, clasificada como no consuntiva.

Uso doméstico: En este uso se incluye el agua distribuida a través de las redes municipales a hangares, comercios, industrias y a los servicios propios del municipio

Con base en la información de la CNA y CONAPO se estima que a nivel nacional, en 1995, de una población total de 91 6 millones de habitantes, 15 1 millones carecen de servicios de agua potable y 30 2 millones de alcantarillado, como se muestra en el cuadro III.2 1. Los mayores rezagos se localizan en el medio rural: 47 5% sin servicio de agua potable y 79.1% sin servicio de alcantarillado

Se estima que la extracción total de agua para este uso es de 8 5Km³/año (270m³/s). Existe capacidad instalada para desinfectar el 95% del agua que se suministra a la población, y reciben un proceso de potabilización aproximado a 2.2Km³/año (70m³/s).

Se generan 7 3Km³/año (231m³/s) de aguas residuales y sólo se recolectan en el alcantarillado 5 5 Km³/año (174m³/s). Se cuenta con una infraestructura para tratar 1.4Km³/año (43m³/s), sin embargo solo se tratan adecuadamente 0 53Km³/año (17m³/s) por lo que se descargan al medio ambiente sin tratar 6 8Km³/año (214m³/s)

La falta de alcantarillado o de letinas para disposición de excretas incrementa los riesgos de brotes de cólera, que han ido en aumento a partir de 1994, se estima que la población del país genera 1.80 millones de toneladas de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), parámetro representativo de la contaminación orgánica, de estas 0 58 millones de toneladas se recolectan por sistemas convencionales y 1 22 millones de toneladas se recolectan mediante los sistemas de alcantarillado, únicamente 0 15 millones de toneladas de DBO son tratadas adecuadamente antes de ser descargas al medio natural

Las tarifas por los servicios generalmente son bajas e insuficientes para que los servicios sean de buena calidad e incluyan el tratamiento de las aguas residuales

Existen 2644 localidades con población mayor a 2500 habitantes y menor a 50,000 en las cuales los costos son altos y las tarifas bajas, en algunas de estas localidades la tarifa media actual representa el 20% de la requerida para dar los servicios con buena calidad, en cuanto a las localidades rurales con menos de 2500 habitantes, se encuentran en condiciones de pobreza y pobreza extrema el 44% de acuerdo al estudio Magnitud y Evolución de la Pobreza en México 1984-1992, realizado por INEGI-CEPAL en 1993, estas localidades no cuentan con recursos para tener acceso a los servicios de agua

potable, alcantarillado y saneamiento, en estas localidades la participación de la población en la definición de criterios para la dotación de servicios ha sido insuficiente, lo que ha originado que se tomen algunas decisiones inadecuadas a las características locales, además ha faltado mantenimiento a la infraestructura y existen obras inconclusas por falta de recursos o por una programación o proyectos deficientes

Se estima que en el año 2000 el país tendrá 99 2 millones de habitantes, de los cuales 70.8 millones estarán concentrados en el medio urbano y 28 4 millones en el medio rural, para que en ese año cuente con agua potable el 87 5% de la población, se debe dotar del servicio a otros 10 3 millones de habitantes, para alcanzar un total de 86 8 millones, para que cuente con alcantarillado el 76 3% de la población, se debe proporcionar el servicio a otros 14.3 millones de habitantes, con el fin de alcanzar un total de 75 7% millones, véase el cuadro III 2 2.

Cuadro III.2.1

Cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado por tamaño de localidad en 1995

Tamaño de localidad	Número de localidades (Mill. Hab.)	Población (%)	Cobertura agua potable (%)	Cobertura alcantarillado (Mill. Hab.)	Población con agua potable (Mill. Hab.)	Población con alcantarillado
Urbano						
80,000 o más	103	42.1	97.8	92.1	41.2	38.8
50,000-79,999	43	2.9	96.3	92.6	2.8	2.7
5,000-49,999	1,135	15.1	95.1	79.2	14.4	12.0
2,500-4,999	1,509	5.3	84.3	47.1	4.4	2.4
Subtotal	2,790	65.4	96.0	85.5	62.8	55.9
Rural						
1,000-2,499	4,661	8.3	67.6	31.0	5.6	2.6
1-999	149,152	17.9	45.4	16.2	8.1	2.9
Subtotal	153,813	26.2	52.5	20.9	13.7	5.5
Total	156,603	91.6	83.5	67.0	76.5	61.4

Programa Hidráulico 1995 - 2000

Cuadro III.2.2

Perspectivas de los servicios de agua potable y alcantarillado a nivel nacional, para el período 1995-2000

Tamaño de localidad	Población (año 2000) (Mill. Hab.)	Cobertura agua pot. (%)	Cobertura alcant. (%)	Población Servida con agua pot. (Mill. Hab.)
Urbano				
80,000 o más	43.6	97.8	92.1	44.6
50,000-79,999	3.2	96.3	92.6	3.0
5,000-49,999	16.3	95.1	79.2	15.6
2,500-4,999	5.7	84.3	47.1	4.8
Subtotal	70.8	96.0	85.5	68.0
Rural				
1,000-2,499	9.0	80.0	60.0	7.2
1-999	19.4	60.0	50.0	11.6
Subtotal	28.4	66.3	53.2	18.8
Total	99.2	87.5	76.2	86.8

Programa Hidráulico 1995 - 2000

Tamaño de localidad	Población benef. con agua pot. (Mill. Hab.)	Población Servida con alcant. (Mill. Hab.)	Población benef. con alcant. 1995-2000
Urbano			
80,000 o más	3.4	42.0	3.2
50,000-79,999	0.2	2.9	0.2
5,000-49,999	1.2	13.0	1.0
2,500-4,999	0.4	2.7	0.2
Subtotal	5.2	60.6	4.6
Rural			
1,000-2,499	1.6	5.4	2.9
1-999	3.5	9.7	6.8
Subtotal	5.1	15.5	9.7
Total	10.3	75.7	14.3

Programa Hidráulico 1995 - 2000

Uso Industrial: Este uso se refiere al agua empleada por las industrias que se abastecen directamente de los cuerpos de agua y descargan a cuerpos receptores, no incluye termoeléctricas ni industrias que se abastecen de las redes de agua potable y vierten sus

desechos en las redes de alcantarillado municipales, se estima que en 1994 el volumen suministrado a la industria fuera de zonas urbanas fue de 2.5Km³/año (78.7m³/s)

Este volumen corresponde a 1387 empresas consideradas como las más importantes por el uso y descarga de agua (no considera 5 0Km³/año de termoeléctricas que usan agua salobre) El 75% del suministro para este uso proviene del agua subterránea y el 25% restante a fuentes superficiales El 35% del volumen total de agua se utiliza como materia prima o como medio de producción en distintos procesos, por lo que su calidad es un factor importante para este uso

Al evaluar la información de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua, se observó que en las condiciones actuales es difícil el aprovechamiento del agua superficial por la industria, ya que el 58% se clasifica como contaminada, el 21% como fuertemente contaminada.

La tecnología utilizada en la mayoría de los procesos industriales es poco eficiente en el uso del recurso, esto se refleja en una extracción excesiva de agua y en una mayor producción de contaminantes, entre los que destacan ácidos, bases, grasas y aceites, metales pesados y sólidos suspendidos totales Las industrias que mas agua utilizan y que contaminan más son azucarera, química-petroquímica, petrolera, celulosa y papel, alimenticia y metálica básica, algunas de estas industrias se establecieron en zonas de baja disponibilidad del agua, lo que ocasiona sobreexplotación de acuíferos, contaminación de los ecosistemas y altos costos de oportunidad del agua

Las normas oficiales mexicanas especifican los límites máximos permisibles de contaminantes presentes en el agua residual por giro industrial, sin embargo, algunos giros no tienen todavía establecidos estos límites

Se estima que la demanda de agua al año 2000 será de 2 6Km³/año (82m³/s), mientras que la descarga de aguas residuales sera de 2 1Km³/año (66m³/s)

Uso para recreación y turismo: Este uso se refiere a las actividades de contacto directo con el agua como son el baño recreativo, la natación, el buceo, asimismo, la pesca, la navegación y demás actividades recreativas y deportivas, además de las actividades de esparcimiento como el descanso y la contemplación del paisaje, no comprende suministro de agua a hoteles ni a actividades comerciales, los cuales están considerados en los usos consuntivos

La República Mexicana cuenta para este uso con 137 lagunas costeras que suman 1,250,000 hectáreas, con cuerpos de agua dulce (lagos, lagunas y embalses) que suman 2,900,000 hectáreas, y con numerosos rios, arroyos y cascadas que constituyen un gran potencial de recursos para fines recreativos y turísticos, existen aproximadamente 850 sitios asociados a cuerpos de agua, con alto potencial para turismo y recreación, en los cuales es conveniente anticiparse a los procesos de contaminación que puedan surgir por falta de vigilancia y control

FONATUR* ha desarrollado el concepto de megaproyectos turísticos que incluye aspectos relacionados con el cuidado del ambiente, especialmente con el tratamiento de las aguas residuales y la disposición de sus desechos, sin embargo, es necesario ampliar el enfoque para que también considere la protección a los cuerpos de agua receptores, con objeto de evitar que el deterioro de su calidad restrinja la actividad turística

La conservación de los cuerpos de agua se fortalece a través del concepto denominado ecoturismo el cual incluye, entre otros aspectos, la conservación de áreas específicas de los ecosistemas como son los cuerpos de agua y norma el desarrollo de actividades de recreación y turismo sin sobreexplotar los recursos naturales

* FONATUR al glosario

III. 3 REUSO EN RECARGA, INDUSTRIA Y TURÍSTICA

Debido que el número de giros industriales es muy grande y que, por consiguiente, las características de las aguas residuales que se producen son diversas, no es posible decir o dar un cierto criterio general en cuanto a las medidas que convendría tomar para el control de las descargas y las posibilidades de recirculación. Sin embargo, existen algunos procesos industriales que en nuestro país tienen particular relevancia desde el punto de vista de la cantidad de agua que se requiere y la agresividad de los residuos que producen las industrias que requieren mayor atención son: La de celulosa y papel, la azucarera, la de acabado de metales, y curtiduría.

La industria de la celulosa y el papel y la azucarera se encuentra en este caso, pero los ingenios con una producción similar en millones de t/año, requieren aproximadamente el doble del volumen de agua que la primera. El caso inverso es el de las industrias de acabado de metales y curtiduría, en los que el volumen de agua utilizada y descargada es pequeño comparado con la producción, peor en las que los afluentes que descargan son tan agresivos que se pueden producir un daño igual o aun mayor que las que descargan grandes cantidades de aguas residuales.

En las industrias analizadas, que corresponden a las mayores problemas pueden provocar en la calidad del agua, es posible considerar que el control de la contaminación que producen depende tanto de realizar un tratamiento adecuado, como de llevar a cabo prácticas de recirculación reuso y aprovechamiento de reactivos y subproductos.

Industria de la celulosa y el papel. Esta industria tiene grandes requerimientos de agua debido a que a través de todo el proceso el agua se usa como vehículo de sustancias y fibras, tanto cuando se usa la madera como materia prima, como cuando se usa bagazo de caña, si tomamos como ejemplo el primer caso, la preparación de la madera por tonelada de celulosa requiere 7.2 m³. de agua fresca y 1.1 m³ de agua recirculada; la fabricación de la celulosa (Método Kraft) requiere 377 m³ de agua fresca por tonelada de celulosa el blanqueado 546; el secado y prensado involucra 39.8 m³/t de agua fresca por tonelada de papel y los servicios auxiliares 24.1 m³.

En promedio, considerando pérdidas y recirculación, las plantas no integradas de celulosa y/o papel purgan al drenaje 162.3 m³. de agua residual por tonelada de pulpa o papel que se produce, y que contiene lignina, fibras y sustancias utilizadas en la digestión, blanqueado y en su caso, teñido del producto, si se considera que la producción de fibras celolósicas y de papel en 1980 fue de 717,468 y 1,731,425 toneladas respectivamente, el volumen de aguas residuales descargando al alcantarillado o directamente a los cuerpos de agua sería equivalente al que produce una ciudad de 5.5 millones de habitantes, sólo que con una concentración de contaminantes mucho mayor. Para el año 2000 de seguir las tendencias actuales, se calcula una producción de 10,173,000 t/año de papel y 3,185,000 de pulpa con una demanda global de agua de 881 millones de m³/año y una descarga global de agua de 881 millones de m³/año y una descarga global de 734 millones de m³/año.

La industria azucarera: El cultivo de caña de azúcar requiere unas condiciones climatológicas muy particulares, en función de este factor y de la necesidad que se tiene esta industria de un gran volumen de agua durante la fabricación del azúcar se determina la localización de los ingenios. En México, la mayor concentración de ingenios se encuentra en la región denominada como la huasteca, que abarca principalmente una amplia zona de los estados de Veracruz, Tamaulipas y San Luis Potosí, y en una larga franja a lo largo del paralelo 20 y que comprende los estados de Jalisco, Michoacán, Morelos, Guerrero, Puebla y Tabasco, el estado de Veracruz es el más importante productor de azúcar del país con una proporción del 40% del total nacional.

Las tres fuentes principales de agua residual en la fabricación de azúcar cruda son: el lavado de la caña, el agua de condensación de las columnas barométricas y en menor grado, el agua de lavado de equipo, tuberías y pisos. La operación de las columnas y pisos las operaciones de lavado constituyen una de las mayores fuentes de contaminación en un ingenio, aunque puede ser disminuida si la recolección se efectúa manualmente, el agua de lavado contiene altas concentraciones de sólidos suspendidos de los cuales una gran cantidad se presentan en forma coloidal o finalmente divididos, el agua condensada representa el total de la contaminación orgánica del proceso, dentro del evaporador o bien a un control inadecuado.

Las descargas de los ingenios azucareros son susceptibles de ser tratadas por medios biológicos, siempre y cuando exista un adecuado inóculo de bacterias que pueden provenir de las aguas negras si ambas afluentes reciben tratamiento combinado, sin embargo para evitar la descarga de un volumen excesivo de agua y no desperdiciar algunas sustancias útiles que arrastra, es conveniente considerar recirculaciones, cambios de proceso y recuperación de subproductos.

Existen posibilidades de recirculación que incluyen el agua de evaporadores en los varios efectos de esta operación, la reutilización del efluente de las columnas barométricas es factible pero puede representar problemas de corrosión en los equipos, a menos que se añadan separadores de arrastre al equipo del ingenio y, por último, la recirculación completa del agua de lavado de caña, pueden considerarse asimismo, algunas modificaciones al proceso, así como la adición de separadores especiales, el jarabe que se recupera de estos aparatos se recibe en la parte inferior y se envía a un tanque de recuperación con mirillas transparentes para permitir la observación desde el exterior, este tanque está ligado al último cuerpo de evaporación para recircular el jarabe al proceso y tiene una válvula que permite drenar y medir la cantidad del jarabe recuperado.

Industria de acabado de metales. Los principales procesos contribuyentes a la contaminación de las aguas, provenientes de la industria de acabado de metales son galvanizado, cromado, niquelado, latonado, cobrizado, anodizado y de menor importancia, el plomizado, estañado, cadmizado, plateado y dorado.

La operación más importante en cuanto al uso de agua en los recubrimientos metálicos es el enjuague de la pieza de trabajo, un cálculo aproximado del volumen de agua requerido, como promedio de la industria de acabado de metales, es de 1,349 litros/m², la demanda de

agua a nivel nacional, estimando una producción de 1,630,000m² de metal recubierto, sería de unos 2,200,000m³/año, de la cual es recirculable un 80% con beneficios por la recuperación de reactivos, entre los dispositivos de tratamiento que pueden usarse para dejar el agua residual en condiciones de ser recirculada, se encuentran los tanques de neutralización y los separadores de grasas y aceites y sólidos sedimentables

También es posible utilizar una serie de técnicas encaminadas a reducir la producción del agua residual, incluyendo, en la fase de enjuague, los siguientes: tanques de enjuague múltiples y a contracorriente, aspersión, enjuague con niebla y enjuague químico. Asimismo, conviene agitar correctamente la pieza en el tanque de enjuague y utilizar aire en el agua de enjuague, agitación hidráulica o usando mezcladores o turbinas; uso de activadores de enjuague y agentes humectantes.

La industria de la curtiduría es muy importante en nuestro país, y se encuentra en casi todos los estados de la República, aunque sobresalen en esta rama Guanajuato, el Distrito Federal, Jalisco y Nuevo León. También es una de las más contaminantes pues sus tres operaciones básicas, depilado, curtido y acabado, requieren del uso de agua, dado que el proceso típico de curtido se lleva a cabo a base de sales de cromo, que son muy tóxicas, los efluentes deben ser tratados antes de descargarse a cualquier cuerpo de agua

Las soluciones que pueden plantearse para el control de la contaminación del agua producida por la industria de la curtiduría no son fáciles de aplicar debido a la componente social involucrada, en las industrias grandes y algunas medianas sería factible recurrir al tratamiento primario a base de tanques de sedimentación, con la ventaja adicional de que éste permitiría el reuso o recirculación del agua.

Turística

Los sistemas modernos de purificación y recirculación de agua de piscinas pueden conseguir la calidad de potable para estas aguas por medio de filtración, a través de tierra, de diatomeas o de arena a presión, y mediante la desinfección, que habitualmente se realiza con cloro, procedente de una bala de cloro gas, o mediante determinadas formulaciones a base de hipoclorito cálcico, mediante un diseño, construcción y operación adecuados, se puede conseguir con estos sistemas la obtención de un agua cuyas cifras de coliformes y cuyos índices de turbidez sean equivalentes a los del agua potable. La pregunta es sin embargo, ¿es esto suficiente? En lo que se refiere a la protección contra la transmisión de enfermedades gastrointestinales como consecuencia del uso de la piscina, por supuesto que si lo es, sin embargo, debe tenerse en cuenta que la calidad del agua potable no hace referencia alguna a factores que pueden producir infecciones en los ojos, oídos, nariz, garganta y piel, de hecho cualquier conjunto de normas sobre calidad de agua para piscinas puede ser nada más que una contribución de segundo orden en la línea de defensa frente a este tipo de infecciones.

Como si fuera una panacea, el cloro es el desinfectante seleccionado para el tratamiento de las aguas de las piscinas, ya que resulta muy fácil de obtener asistencia técnica en cuanto a

su empleo, tanto de los departamentos relacionados con el agua como de los suministradores de material, incluida la asistencia de los equipos, el cloro resulta muy familiar en las oficinas de la salud, tanto a sanitarios como a ingenieros

Por otra parte, en el mercado se puede encontrar una amplia variedad de procedimientos de efectuar estas adiciones de cloro, que van desde el gas licuado hasta las de soluciones de hipoclorito, todo ello en una amplia gama de precios. Entre sus inconvenientes podemos señalar la pérdida de cloro como consecuencia de la acción de la luz ultravioleta durante los periodos de gran alfluencia en los días de sol y el olor que se produce debido a la formación de complejos clorados cuando la dosificación del cloro no se ajusta adecuadamente a los cambios en la demanda.

Los compuestos que podrían competir con el cloro, como el yodo, el bromo y los cianurados clorados, no presentan una aceptación muy amplia pese a que sus ventajas compensan sus desventajas particulares.

Agua para la pesca y las aves acuáticas. La calidad del agua en relación con estas formas de vida tiene una serie de valores de tipo comercial, recreativo y estético establecidos por el hombre si tenemos en cuenta su egocentrismo, planteado de un modo más vital, el agua resulta un determinante de estas especies en cuanto a su supervivencia, que influye de un modo conocido unas veces, desconocido otras, al utilizar el agua como materia prima o como receptor de sus desechos, en nuestros días apenas si estamos empezando a conocer algo acerca de los complejos factores físicos y bioquímicos en que se apoyan la vida acuática y de las aves acuáticas y que tiene como soporte el agua en la que tiene lugar su reproducción, la vida acuática que existe en la actualidad tiene una cierta tolerancia en relación con las variaciones naturales periódicas tales como las de temperatura, flujos y mares, el margen de tolerancia no es grande para ninguna especie y para algunas resulta enormemente estrecho, el oxígeno disuelto para los peces, por ejemplo. Las modificaciones producidas artificialmente por el hombre pueden ser moderadas o producir alteraciones bruscas, con los que obviamente introducirán cambios inmediatos o más lentos en el equilibrio existente, la gran variedad de circunstancias que pueden alterar el equilibrio de algunas especies resulta multiplicada por el conjunto de respuestas que provoca en todas las otras especies dependientes de la primera por depredación o por simbiosis o a consecuencia de las modificaciones ambientales que se debían a la primera de estas especies, una revisión de todas estas influencias físicas y químicas esenciales, incluyendo las condiciones necesarias para la penetración de la luz que permita la fotosíntesis y los contaminantes y polucionantes que destruyen la vida

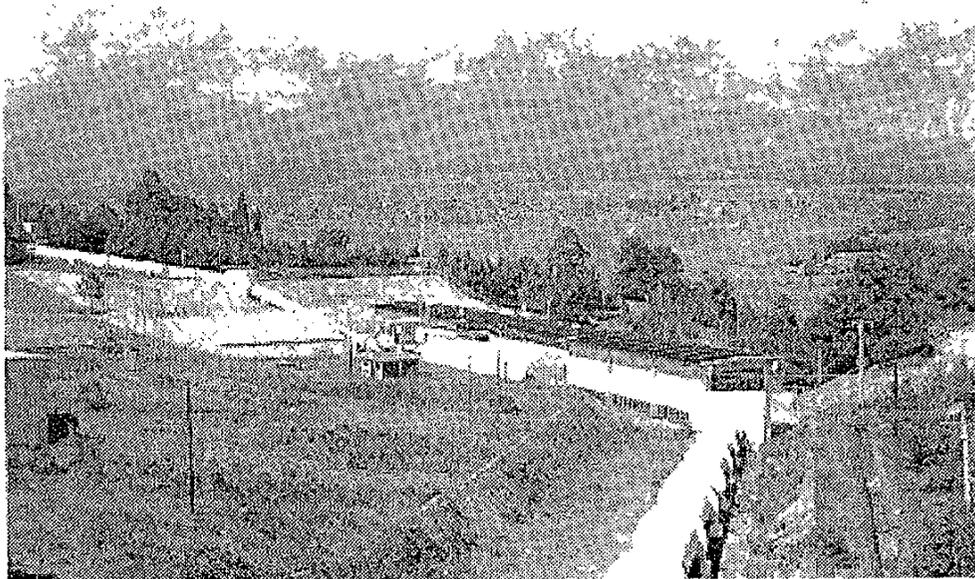
III.4 PROCESOS DE OPERACION Y DISPONIBILIDAD

El Sistema Cutzamala en esta primera etapa inició su operación en 1982 aportando 4000 litros por segundo de la presa Villa Victoria, se construyó la planta de bombeo No. 5, que alberga seis conjuntos motor-bomba-válvula esférica de 4000 litros por segundo cada uno y tres equipos con capacidad unitaria de 1700 litros por segundo, para vencer una carga de 174 metros, así como la subestación eléctrica que reduce la tensión de 115,000 volts a 13,800 volts, con la que funcionan dichos equipos, para procesar las aguas provenientes de la presa Villa Victoria, que se conducen por gravedad de ésta a la planta potabilizadora de Berros, mediante el canal "Héctor Martínez de Meza" con longitud de 13 kilómetros, se construyeron el tanque de recepción de aguas crudas, los canales Parshall para medir y adicionar los reactivos químicos, el primer módulo de potabilización con capacidad de 4000 litros por segundo, un laboratorio para realizar los análisis físico-químicos y bacteriológicos, el tanque de aguas claras con capacidad de 48,000 metros cúbicos, que funciona como tanque de sumergencia para la planta de bombeo No 5, una torre de oscilación de 10 metros de diámetro interior y 45 metros de altura, ubicada en el punto más alto de la conducción, a 2700 metros sobre el nivel del mar, a partir del cual el agua se conduce por gravedad hasta el Área Metropolitana de la Ciudad de México

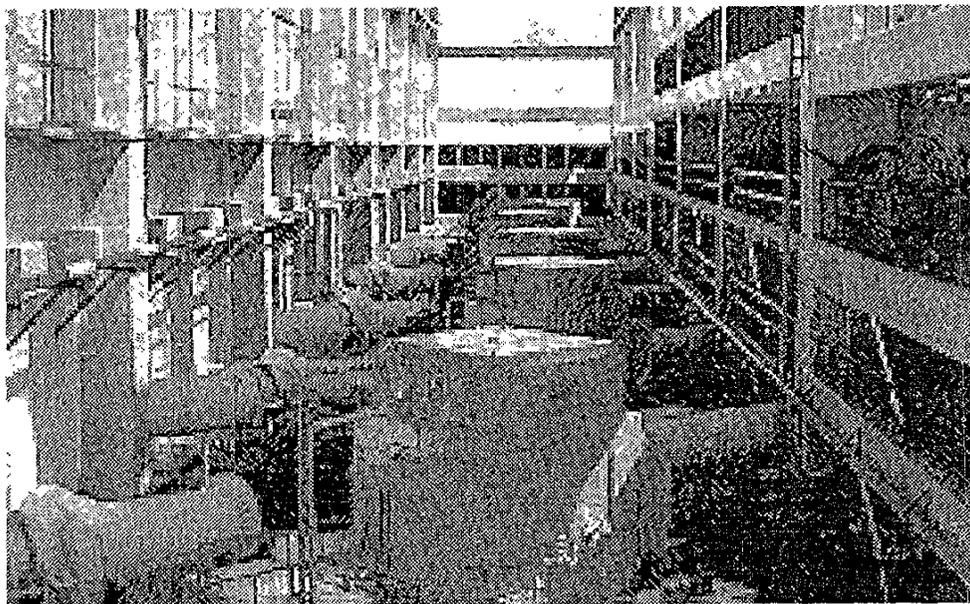
Se instalaron también las rampas de alta y baja presión con tuberías de acero que interconectan el tanque de aguas claras, la planta de bombeo y la torre de oscilación, y una conducción de tubería de concreto preesforzado de 2.50 metros de diámetro con capacidad para 12,000 litros por segundo, en una longitud de 77 kilómetros hasta la conexión al túnel Atarasquillo-Dos Ríos que introduce las aguas del Sistema Lerma al Valle de México.

Dentro de la obra electromecánica para la operación de todo el Sistema Cutzamala, que se alimenta de los sistemas Infiernillo-Nopala, se construyó una subestación principal denominada Donato Guerra que reduce la tensión de 400,000 volts a 115,000 volts con dos bancos de transformación para su distribución a las distintas plantas de bombeo del proyecto

La segunda etapa, cuya conducción de la presa Valle de Bravo a la planta potabilizadora Los Berros con desarrollo de 29 kilómetros, se puso en marcha en 1985 aprovechando 6000 litros por segundo de esa presa, para lo cual se construyeron las plantas de bombeo 2, 3 y 4



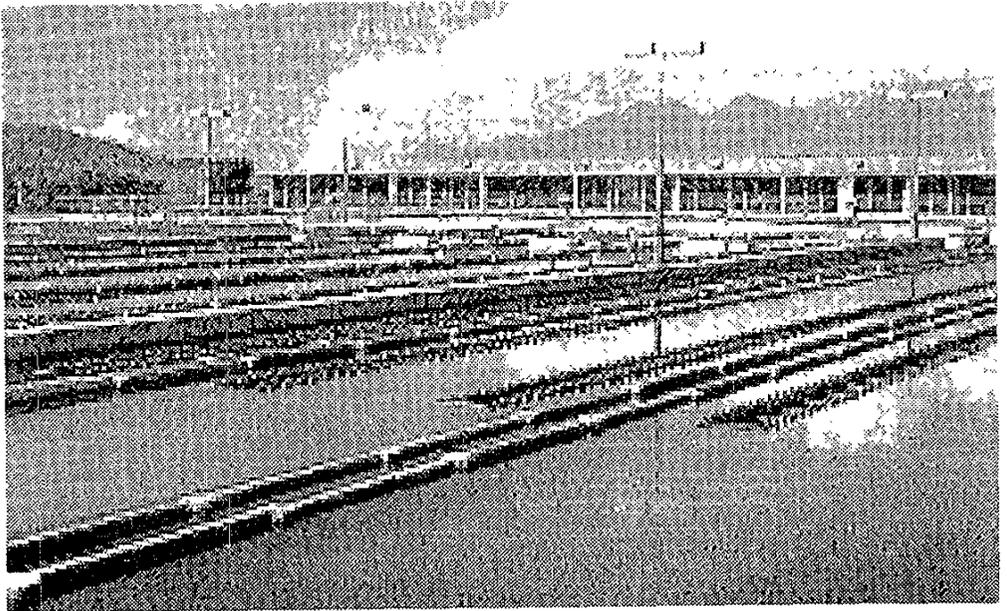
Planta de bombeo No. 5



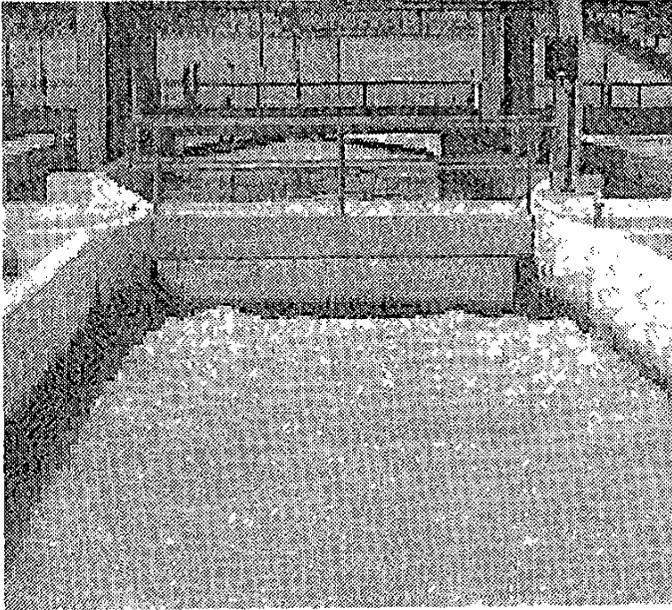
Equipos de la planta de bombeo No. 5



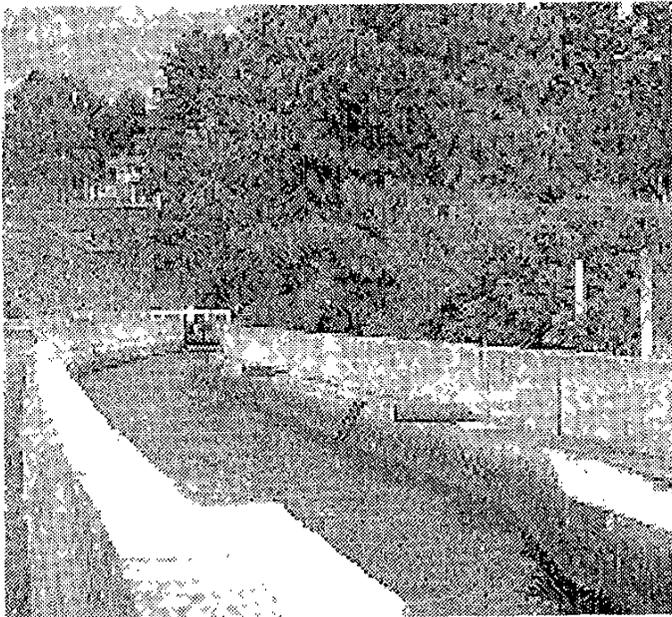
Presa Villa Victoria



Modulo de Potabilización



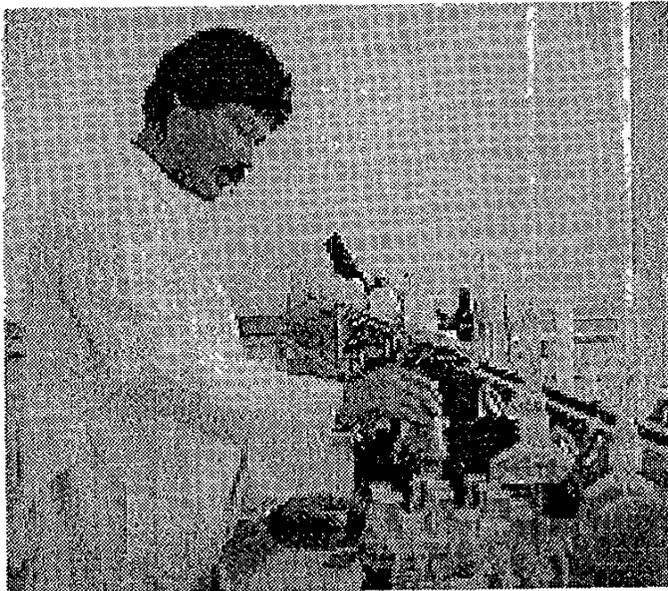
Canales Parshall



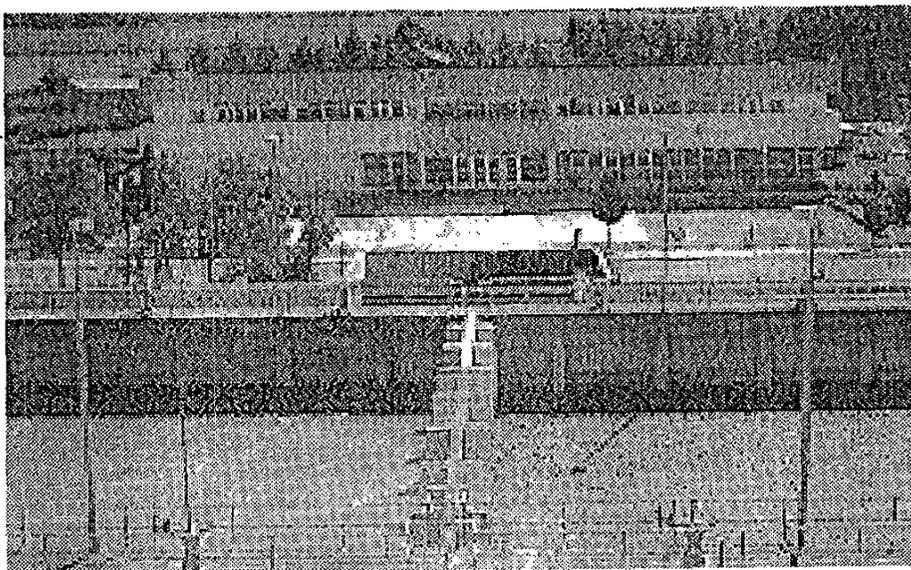
Canal "Hector Martínez de Meza"



**Tubería de alta presión a
La Torre de Oscilación No.5**



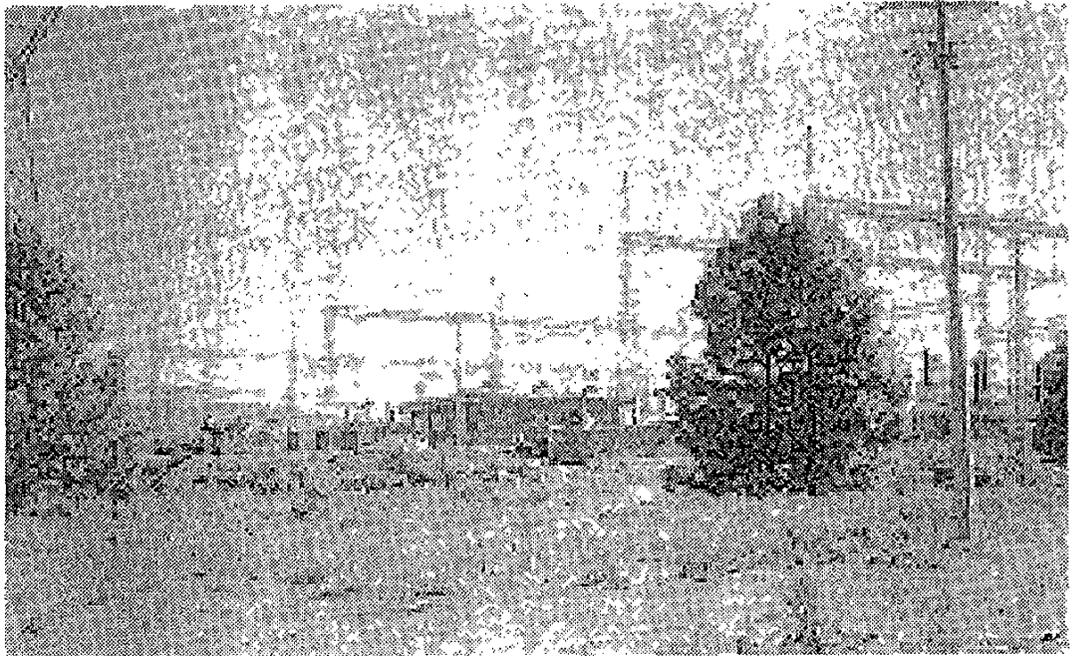
Laboratorio de Analisis



Tanque de recepción de aguas crudas



Tanque de aguas claras



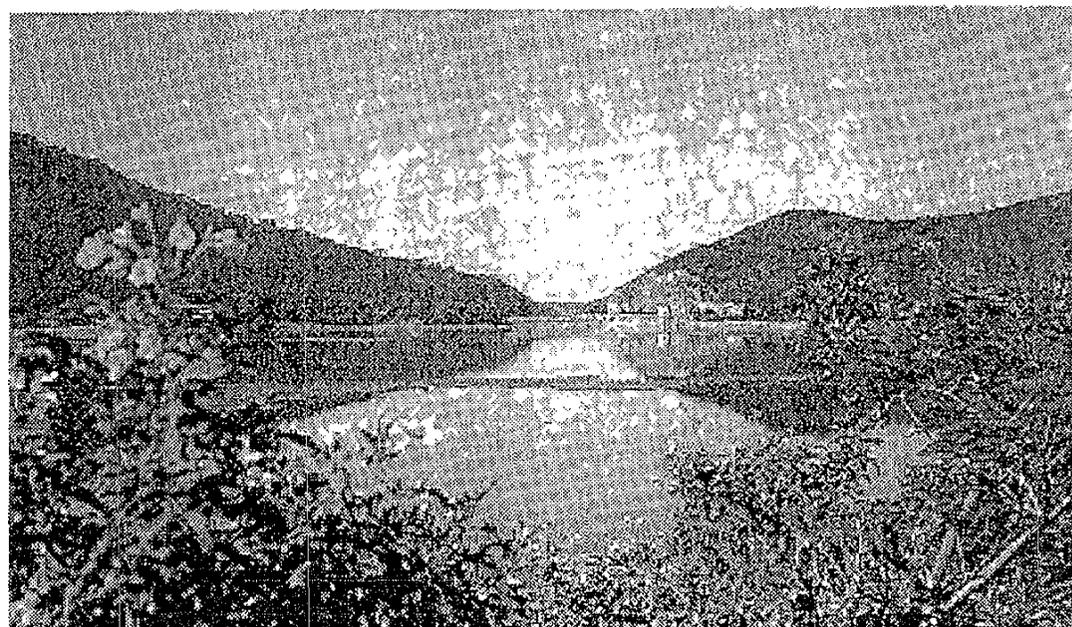
Subestación Eléctrica "Donato Guerrero"

Se instalaron los primeros tres conjuntos motor-bomba-válvula esférica de los seis proyectados para cada planta con capacidad unitaria de 4000 litros por segundo y potencia en sus motores de hasta 22,000 caballos de fuerza, que vencen una carga total de 822 metros, 5.2 veces más que la altura de la Torre Latinoamericana, e impulsan el agua por una línea de tubería de concreto preesforzado de 2 50 metros de diámetro y de acero con diámetros que fluctúan entre 1 83 y 3.17 metros hasta el canal abierto "Donato Guerra" construido de sección trapecial revestido de concreto con plantilla de 3 metros de ancho, taludes de 1.5:1 y 3 metros de profundidad con longitud de 7 5 kilómetros, pasando posteriormente al túnel "Agua Escondida" con longitud de 3 kilómetros, sección de herradura de 3.85 metros, revestido de concreto con estructuras de control en sus portales de entrada y salida, continuando la conducción mediante dos líneas de tuberías de concreto hasta la planta potabilizadora "Los Berros" en la que se construyeron dos módulos adicionales de potabilización de 4000 litros por segundo cada uno.

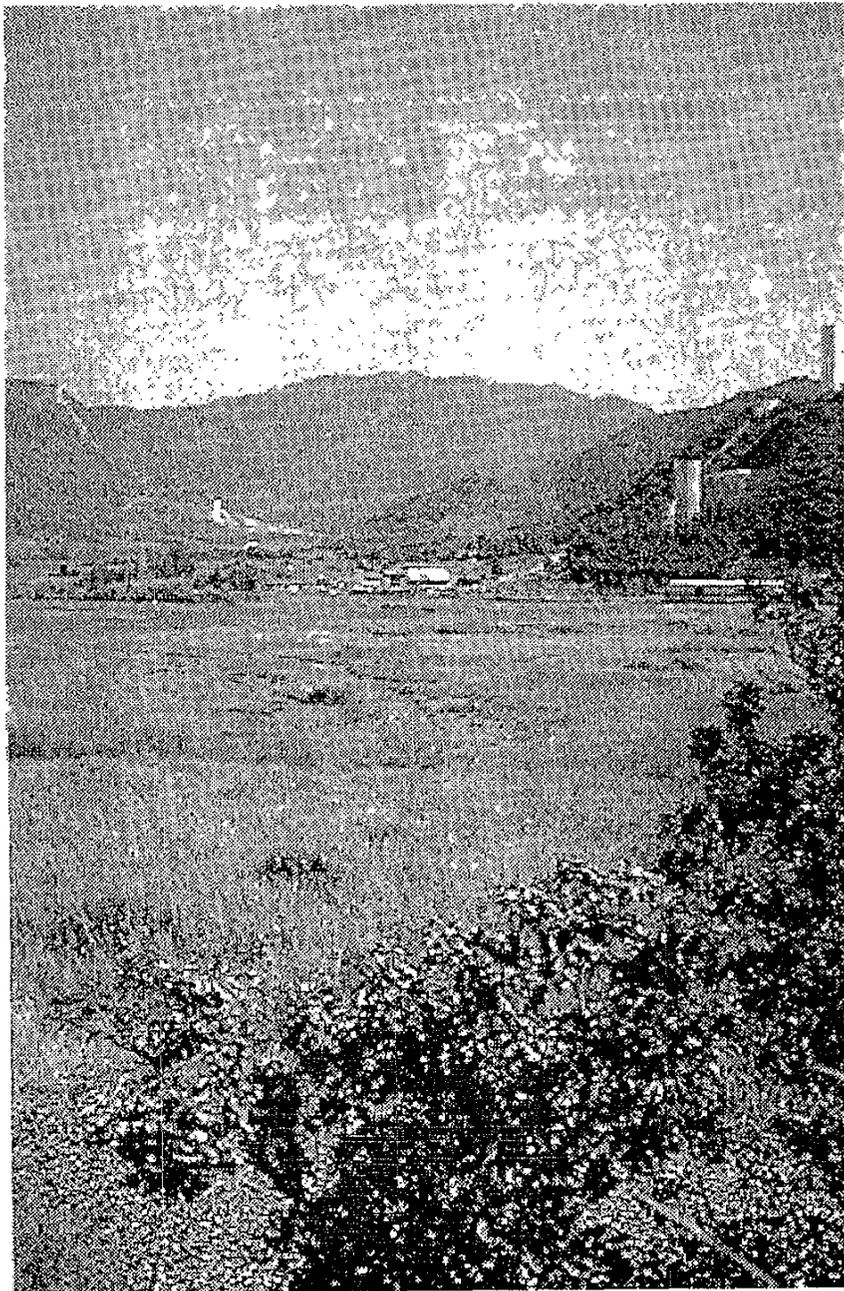
Las plantas de bombeo 2, 3 y 4 cuentan con una torre de sumergencia y una de oscilación. La primera, proporciona la carga y la cantidad de agua que necesitan los equipos para arrancar, la segunda reduce el golpe de ariete en la tubería de acero y lo minimiza en el resto de la conducción, estas torres son estructuras cilíndricas de concreto reforzado cuya construcción requirió de un colado continuo con alturas que fluctúan entre los 32 y 51 metros, con diámetros de 10 metros y espesor en sus paredes de 1 60 metros

Para la operación de estas macroplantas de bombeo se construyeron sus respectivas subestaciones eléctricas para reducir la tensión de 115000 volts a 13800 volts, mediante dos transformadores en cada una de ellas contando con accesorios y sistemas de control y protección, para introducir el agua de esta segunda etapa al Valle de México atravesando la serranía de las Cruces, se llevó a cabo la construcción del túnel Analco-San José de 16 kilómetros de longitud con un diámetro superior a los 4 50 metros y capacidad para conducir hasta 34,000 litros por segundo en previsión de futuros proyectos de abastecimiento, en su construcción se aprovecharon dos lumbreras del túnel del Sistema Lerma y se excavó una tercera en Dos Ríos, con profundidades de 210 metros las dos primeras y de 30 metros la última. En ésta se alojó la estructura de la bifurcación en la conducción del agua hacia los municipios conurbados del Estado de México, mediante el Ramal Norte-Macrocircuito y hacia el Distrito Federal por el Ramal Sur-Acuaférico.

La tercera etapa está integrada por los Subsistemas Chilesdo y Colorines para un aprovechamiento total de 9000 litros por segundo, el primero se encuentra en operación desde enero de 1993 aportando 1000 litros por segundo en promedio y hasta 5000 litros por segundo en épocas de avenidas, capta las aguas del río Mañacatepec en la presa Chilesdo, que fue construida con cortina de concreto de sección tipo gravedad, altura máxima de 19 2 metros y 44 2 metros de longitud, con lo cual se evita que estas aguas escurran hasta la presa Colorines, reduciendo así los costos de operación, ya que la carga de bombeo de este punto a la planta potabilizadora es de 275 metros y desde la presa Colorines de 980 metros



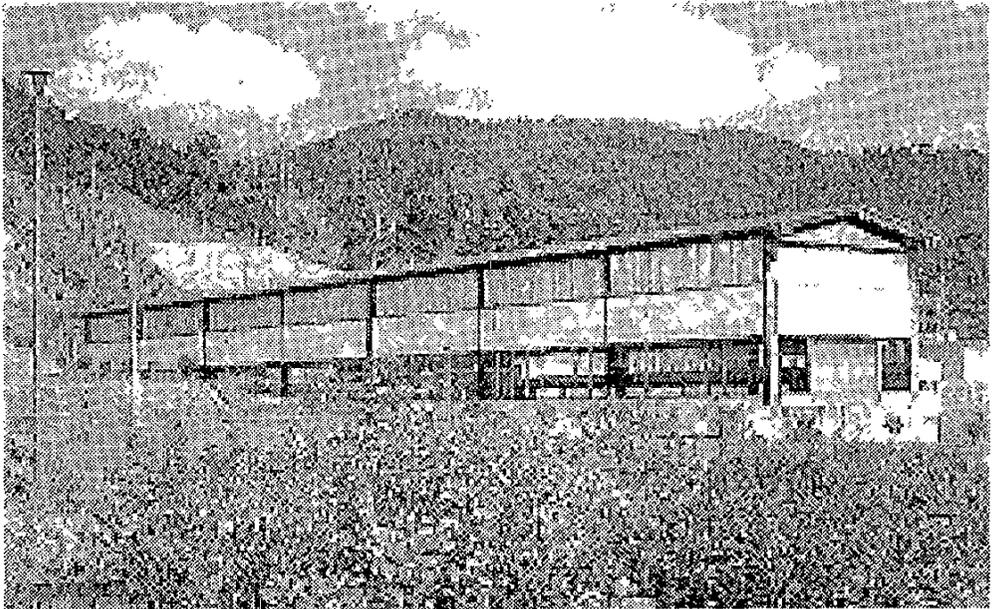
Presa Valle de Bravo



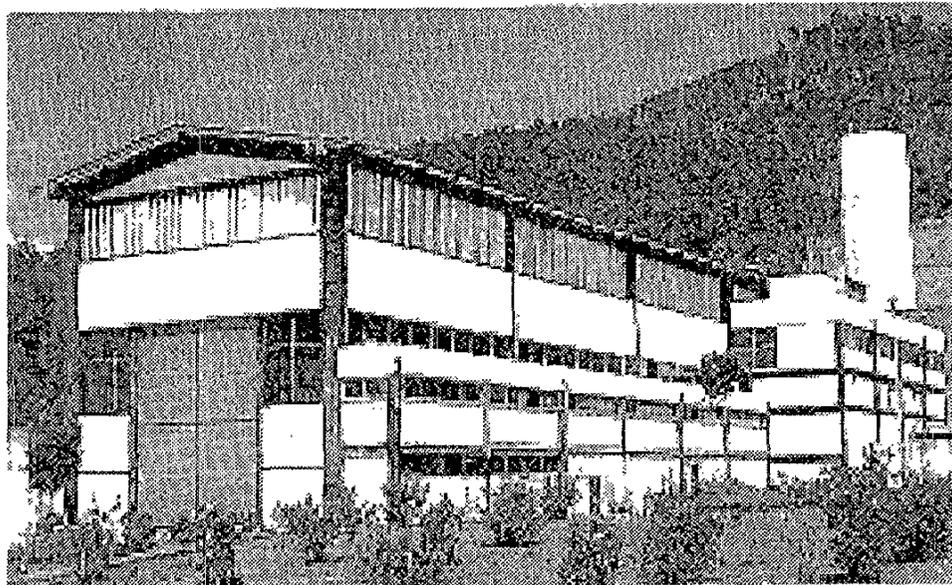
Panorama del sistema Cutzamala



Planta de Bombeo No. 2



Planta de Bombeo No. 3



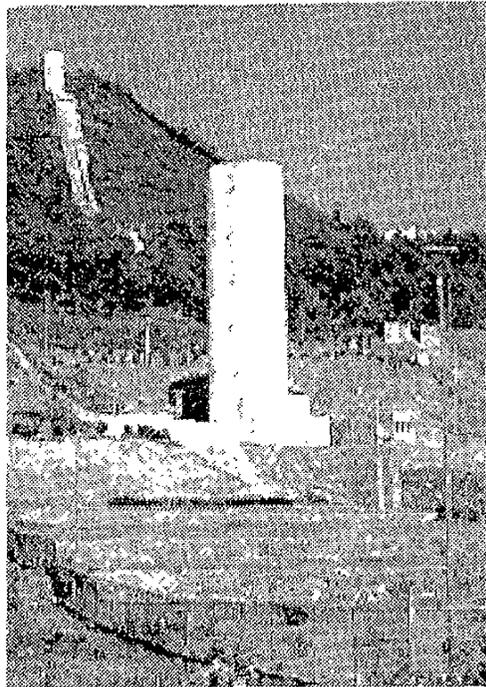
Planta de Bombeo No. 4



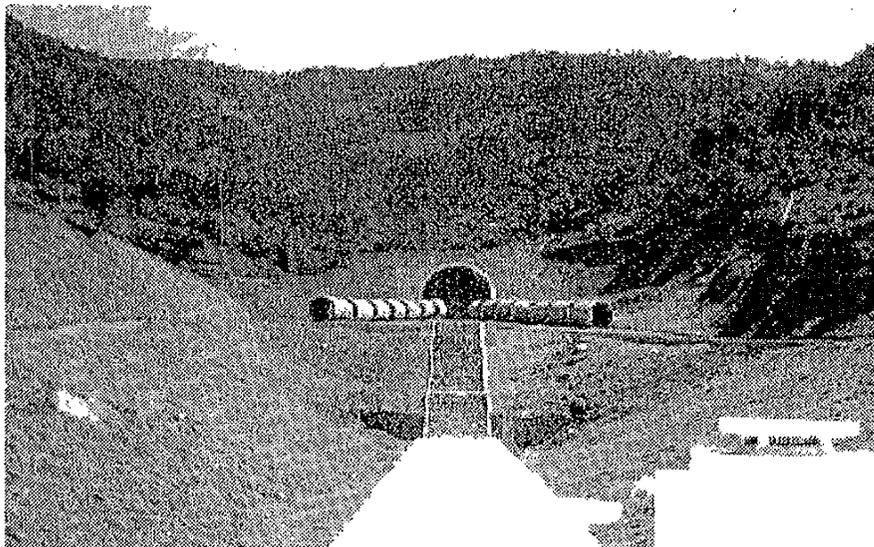
Canal abierto "Donato Guerra"



Tunel "Agua Escondida"



**Torre de Sumergencia y de Oscilación
de la planta de Bombeo No. 3**



Portal de entrada Tunel "Analco San Jose"



**Cortina de la
Presa Chilesdo**



Embalse de la Presa Chilesdo

Para esta captación se construyó la planta de bombeo No. 6 que aloja tres conjuntos motor bomba-válvula esférica, con capacidad de 1700 litros por segundo, tienen sus motores una potencia total de 16,890 caballos de fuerza, una subestación eléctrica que reduce la tensión de 115000 volts a 13800 volts, la conducción de esta planta de bombeo a la planta potabilizadora tiene un desarrollo total de 15 261 kilómetros, dentro de la cual la conducción de la obra de toma a la torre de sumergencia tiene una longitud de 718 metros de tubería de acero de 1 52 metros de diámetro, incluyendo tubo puente sobre el río Malacatepec.

De la torre de sumergencia a la planta de bombeo se instaló una tubería de acero de 1 5 metros de diámetro con una longitud de 83 metros y de la planta de bombeo No. 6 a la estructura de oscilación se colocó una tubería de acero de 1 67 metros de diámetro y 2460 metros de longitud, siendo esta última la línea de alta presión, de la estructura de oscilación al punto de interconexión con el Acueducto Cutzamala se instalaron dos líneas de tubería de concreto preesforzado de 1 26 metros de diámetro con 12,000 metros de longitud cada una, la torre de sumergencia es una estructura cilíndrica de 6 metros de diámetro interior, espesor en sus paredes de 0 45 metros, de concreto reforzado, colado continuo y una altura de 19 metros

La estructura de oscilación, a diferencia de las otras plantas de bombeo, donde sus torres son recipientes circulares y verticales de gran diámetro y altura, para la planta de bombeo No. 6, ingeniosamente se aprovecharon las condiciones naturales del terreno, derivando una tubería de concreto preesforzado de 2 50 metros de diámetro y 270 metros de longitud apoyándola sobre las faldas de un cerro hasta alcanzar la altura requerida, funcionando esta línea como una cámara de oscilación, el Subsistema Colorines aprovecha las aguas de las presas Tuxpan y el Bosque, en el Estado de Michoacán e Ixtapan del Oro, en el Estado de México, mediante su captación en la presa derivadora Colorines, para un suministro de 8000 litros por segundo en promedio, la obra de toma en la presa Colorines, se construyó de concreto reforzado equipándose para su operación con ocho compuertas deslizantes, cuatro para servicio y cuatro de emergencia

La planta de bombeo No. 1 está constituida por una casa de máquinas con estructura metálica de 16 por 80 metros, con altura de 18 metros, en ella se encuentran instalados cinco conjuntos motor-bomba-válvula esférica con potencia unitaria de 10,700 caballos de fuerza y gastos de 4000 litros por segundo cada uno para una capacidad total de 20000 litros por segundo, venciendo una carga de 157 metros, cuenta también con un módulo de controles y servicios de 5 por 26 metros y altura de 13 metros en cuatro niveles

De la obra de toma a la torre de sumergencia se instalaron dos líneas de tubería de concreto preesforzado de 2 50 metros de diámetro y 297 metros de longitud cada una, en la llegada a la torre se instalaron dos válvulas de mariposa de 2 50 metros de diámetro, una en cada línea, de esta torre parte una tubería de acero de 2 90 metros de diámetro y 150 metros de longitud para unir el múltiple de succión de la planta de bombeo, de la torre de oscilación parten dos líneas de tubería de concreto reforzado de 2 50 metros de

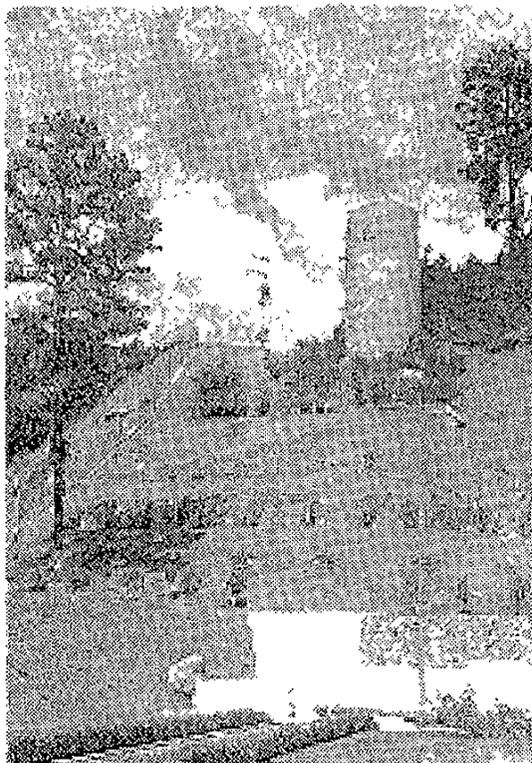
diámetro y 2000 metros de longitud, cada una con su respectiva válvula de mariposa de 2 50 metros de diámetro, estas dos líneas se conectan a la tubería de acero que sirve de salida al túnel El Duazno

La torre de sumergencia, cuya función es proporcionar la carga y la cantidad de agua que necesitan los equipos para su arranque, es una estructura cilíndrica de concreto reforzado de 10 metros de diámetro interior, con altura de 20 metros teniendo un espesor de 0.65 metros en sus paredes, la torre de oscilación que reduce el golpe de ariete en la tubería de acero y lo minimiza en el resto de la conducción, es también una estructura cilíndrica construida bajo un innovador proceso de cimbra deslizante con sistema hidráulico auto nivelable para un colado continuo desde su inicio hasta su terminación, tiene un diámetro interior de 10 metros, espesor en sus paredes de 2 25 metros y una altura de 62 metros, que la distingue como la más grande y alta del Sistema

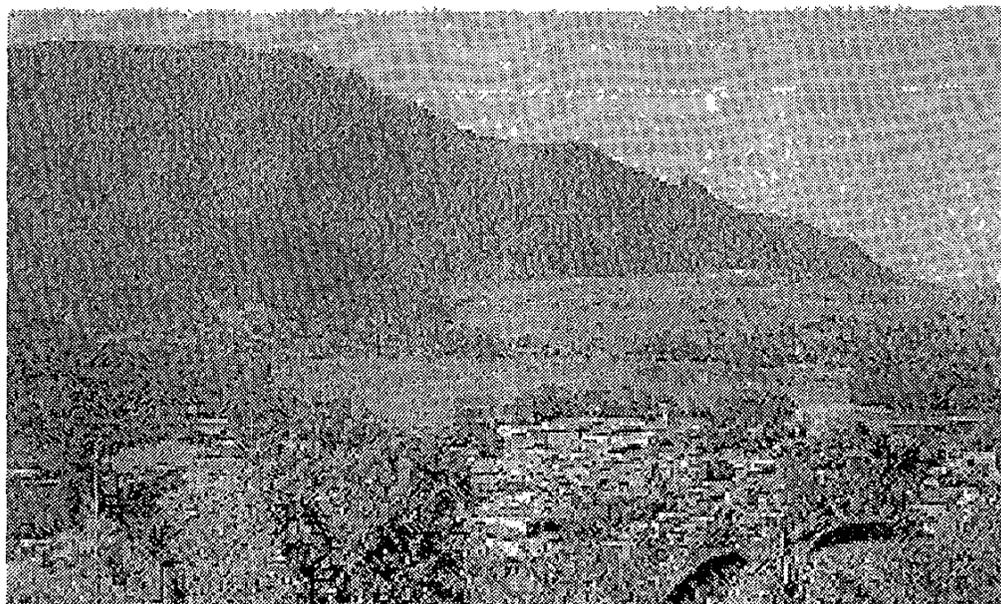
Con la operación de este Subsistema, se atenderán los incrementos anuales en la demanda hasta 1999 y adicionalmente permitirá abatir rezagos existentes y reducir la sobreexplotación del acuífero hasta en 2400 litros por segundo, mediante la cancelación de pozos en el Valle de México



Planta de Bombeo No.6



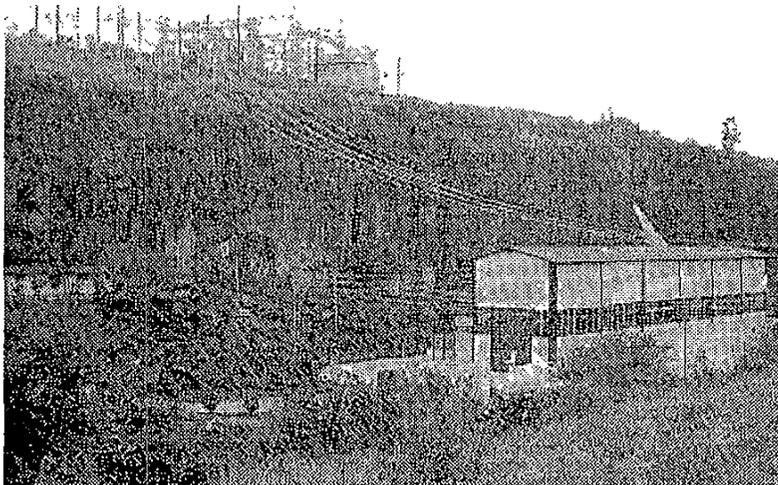
Torre de Sumergencia No. 6



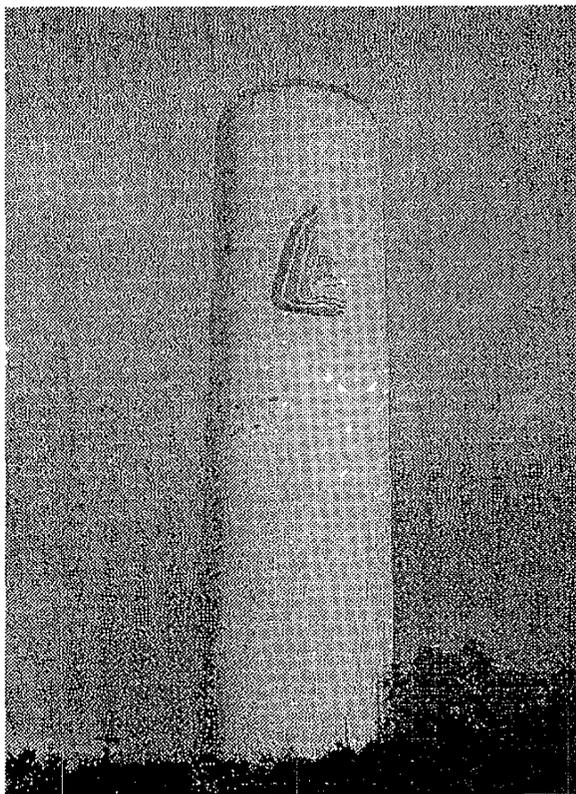
Presa derivadora Colorines



Obra de Toma Colorines



Vista de conjunto de la Planta de Bombeo No. 1



Torre de Oscilación No. 1

FACTIBILIDAD Y APLICACIÓN

IV. FACTIBILIDAD Y APLICACION

¿Y si ya no tuviéramos qué beber? El uso del agua está inmerso en prácticamente todas las actividades que realizamos los seres humanos. Nos decimos los más evolucionados de la Naturaleza y actuamos como los más irresponsables, estamos habituados a abrir la llave y que el líquido surja sin pensar de donde y cómo proviene, cuánto y a quién le cuesta llevarla hasta ahí, nos acostumbramos a escuchar que nuestro planeta es dos terceras partes de agua, sin embargo, esta cantidad no es utilizable para mantenernos con vida.

Durante esta época del año es común que los niveles de agua en los ríos se reduzcan, siempre tenemos la esperanza de que se recuperen con la temporada de lluvias, no obstante, cada vez secamos más el subsuelo, los ríos y éstos no recuperan su nivel ni con las lluvias porque nuestra demanda y desperdicio es mucho mayor.

Por otro lado, el agua que ya utilizamos, se devuelve al cauce de los ríos conteniendo un sinfín de contaminantes que provocan serios daños a los lechos pluviales y a los océanos. La temporada de lluvias también la desaprovechamos porque no almacenamos eficientemente el líquido.

El abastecimiento de agua lo damos por garantizado porque pagamos nuestro consumo doméstico o industrial y nuestros impuestos, pero sabemos que transportarla desde su fuente hasta las grandes o pequeñas urbes tiene un costo cada vez mayor. También hay que considerar la descarga de la que utilizamos indiscriminadamente con productos tóxicos, de lenta y costosa degradación, o simplemente, porque la dejamos ir sin provecho, responsabilizamos a las autoridades si nos hace falta el agua cuando somos todos y cada uno de los habitantes de la Tierra, quienes debemos cuidarla y usarla inteligentemente.

No tenemos una cultura de aprovechamiento de recursos y las carencias, que serán cada vez más en esta materia, nos obligan a reflexionar, investigar y practicar más y mejores formas de economizar el recurso vital, de tratarla ya utilizada, de potabilizar a bajos costos el agua salada, la naturaleza en su sabiduría nos obliga a replantear fenómenos como "El Niño" nos causan daños. Derrumbes, inundaciones, deslaves, mareas altas, huracanes, en fin, la tierra se protege y nosotros ¿qué hacemos?

Nuestro gremio, conocedor de esta realidad desde hace tiempo, tiene la gran responsabilidad de ayudar a la población a tomar conciencia de que la vida de nuestro planeta depende principalmente de que aprovechemos en todos sentidos el agua como debe de ser, ya no nos podemos dar el lujo de desperdiciar ni una gota. La tarea consiste en trabajar con otros especialistas para reeducarnos, este proceso debe empezar en el núcleo más pequeño, es decir en nuestra familia y de ahí extenderlos a los demás, escuela, trabajo y comunidad, he aquí un reto para nosotros los ingenieros y un compromiso con nuestra descendencia y con el lugar que habitamos. Pongámonos a trabajar en ello."

Se llevará a cabo un programa de comunicación que informe a la sociedad las acciones y objetivos del Programa Hidráulico 1995-2000, para uso y cuidado de los recursos hidráulicos, la comunicación comprenderá el uso de los medios masivos, grupales e interpersonales seleccionados, de acuerdo con una estrategia dirigida a los diferentes sectores de la población, se fomentará en la sociedad una cultura del agua orientada a usarla con mayor eficiencia, disminuir la contaminación de los cuerpos de agua y usar de manera sustentable los recursos renovables.

Se destacará el valor del agua en las diferentes regiones del país, para que esta información oriente la actitud de la población en favor del uso eficiente y productivo del recurso, así como, el compromiso de conservarlo para no cancelar oportunidades de desarrollo a las futuras generaciones, se difundirá la disponibilidad del recurso a nivel regional y/o local, para que la opinión pública cuente con información adecuada para participar en la toma de decisiones

Las acciones para formación de una cultura del agua, incluyen las orientadas a fortalecer la participación de la sociedad de manera comprometida en las distintas posiciones como usuario responsable para reducir la demanda y como vigilante de las decisiones en relación con el aprovechamiento del recurso a nivel de cuenca, río, lago, acuífero y estuario, se requiere un ambiente general favorable que rebasa al ámbito del agua, por lo que estas acciones estarán íntimamente relacionadas con los sistemas educativos, formal y no formal y deberán formar parte de la campaña nacional a favor de la educación en el marco del Programa de Desarrollo Educativo 1995-2000, a cargo de la Secretaría de Educación Pública

En coordinación con las Secretarías de Educación Pública y Salud, se realizarán acciones para difundir a la población escolar y a la que asiste a los centros de servicios para la salud, los aspectos más relevantes sobre el aprovechamiento y cuidado del agua

En coordinación con los gobiernos estatales y municipales, y en concertación con los usuarios se realizarán programas de difusión sobre el aprovechamiento y cuidado de los cuerpos de agua específicos en los que se localizan los grupos usuarios

En coordinación con las demás áreas de la SEMARNAP, se llevarán a cabo programas de difusión sobre el papel que desempeña el agua en los ecosistemas y los cuidados que requiere

En apoyo al Programa Nacional de Acción en favor de la Infancia 1995-2000, a cargo de la Secretaría de Salud, se participará con programas de cuidado del agua y de baños limpios en escuelas, jardines de niños, parques y demás sitios públicos y privados dedicados a la población infantil, con apoyo en la coordinación existente ante las Secretarías de Educación Pública y de Salud con la CNA

* Estuario al glosario.

IV.1 FACTIBILIDAD SOCIAL

La irregularidad en la distribución de los recursos hidráulicos en el plano terrestre, el constante desarrollo del consumo de agua, la contaminación considerable de las aguas subterráneas, su intensa extracción en las regiones económicas más desarrolladas, la deficiencia existente de aguas dulces potables y otros factores provocan la necesidad de emplear métodos de reposición o recarga artificial y de regulación de las reservas de agua subterráneas.

En un país como México con una superficie de cerca de los $2 \times 10^6 \text{Km}^2$, se estima una precipitación media anual de 777mm, equivalente a un volumen de lluvia de $1,522 \text{Km}^3$, produciendo este último una disponibilidad natural como escurrimiento superficial virgen de 410Km^3 y 63Km^3 que se infiltran en el suelo recargando los acuíferos.

La extracción total de agua para los principales usos en el país en 1995 se estimó en 186.7Km^3 destinándose 73.5Km^3 para usos consuntivos (agrícola 61.2, doméstico: 8.5, industrial 2.5 y acuicultura 1.3 Km^3) correspondiendo 49Km^3 de aguas superficiales y 24Km^3 de aguas subterráneas, los restantes 113.2Km^3 se aprovechan en la generación hidroeléctrica clasificada como no consuntiva, como se puede apreciar, el 83% del volumen total de agua aprovechada como uso consuntivo corresponde al uso agrícola, utilizando casi el 97% del volumen de origen subterráneo (sin incluir el uso público urbano), lo anterior da una apariencia de abundancia del recurso agua, sin embargo, está mal distribuido en el país, que anudado a la contaminación de los cuerpos de agua superficial y subterráneos, provoca una escasa disponibilidad

Las aguas residuales más importantes que se generan en el país son de tres tipos. domésticas $231 \text{m}^3/\text{s}$ ($7.3 \text{Km}^3/\text{año}$), industriales $65 \text{m}^3/\text{s}$ ($2.05 \text{Km}^3/\text{año}$) y agrícolas $380 \text{m}^3/\text{s}$ ($12 \text{Km}^3/\text{año}$)

Las dos primeras se les considera fuentes contaminantes dispares, las aguas residuales que pudieran ser una fuente potencial para su reuso en la recarga artificial de acuíferos serían las domésticas (municipales) e industriales, ya que estas pueden ser controladas por los sistemas de alcantarillado y conducidas hasta la zona de recarga, esto no quiere decir que todo el caudal o volumen de esas aguas se destinara para recarga, ya que estaría en función de la disponibilidad del agua en la zona (posible escasez), del precio por el servicio de agua potable suministrada, de las tarifas por descargar agua residual a un cuerpo de agua receptor, del tipo de suelo y acuífero, entre otros, por lo que se tendría que hacer un estudio específico por zona analizando los aspectos técnicos, normativos (legales) y económico-financieros para la factibilidad del proyecto

La recarga artificial de las aguas subterráneas es una medida de ingeniería consistente en asegurar las condiciones favorables para disponer parte de los escurrimientos superficiales en escurrimientos subterráneos, siendo una tarea de muchos aspectos que asegura no sólo la reposición de las reservas de agua subterráneas y su protección contra el agotamiento,

sino también la utilización más integral y racional y la protección de los recursos hidráulicos, los suelos y otros recursos naturales, cuando de un manto de agua subterránea se bombea agua a un ritmo superior al de su recarga natural, se produce el consiguiente desequilibrio y los niveles del agua en los pozos descienden sin recuperarse año tras año en magnitudes que dependen del grado de desequilibrio (diferencia entre los volúmenes bombeados y la recarga natural) y de las características de almacenamiento de la roca permeable.

Una forma de aminorar este problema y aprovechar al máximo la capacidad de almacenamiento de las estructuras subterráneas premeables es su recarga artificial con aguas de procedencia exterior al sistema, o con aguas que saldrían del mismo sin tener un aprovechamiento adecuado, la recarga artificial de acuíferos se define como el conjunto de técnicas cuyo objetivo principal es permitir una mejor explotación de los acuíferos por aumento de sus recursos y creación de reservas, mediante una intervención directa en el ciclo natural del agua

Los métodos de recarga artificial son generalmente de dos tipos

- Métodos de Superficie (infiltración rápida o infiltración-percolación)
- Métodos en Profundidad (inyección en pozos)

Los métodos de superficie utilizan Lagunas de Infiltración (fig 1V.11) en las que el agua se infiltra desde la superficie del terreno y percolado a través de la zona aireada permeable hasta alcanzar el acuífero que en este caso se le considera del tipo libre o freático, en este caso el suelo funciona como un sistema de tratamiento natural por filtración

El método de infiltración-percolación necesita suelos con muy buen drenaje, tales como los arenosos, los franco-arenosos y los de alto contenido en gravas, en este sistema el nivel piezométrico no debe ser superior a 3 o 4m

Se considera que un suelo está bien drenado cuando un vertido de 5cm/día se infiltra en 24 horas, aunque esta norma varía de unos lugares a otros con las condiciones específicas de cada área de aplicación, la capacidad de infiltración del suelo en el método de infiltración-percolación debe ser elevada, entre 100 y 300mm/día o incluso superior, los suelos que admiten este método, como se mencionó anteriormente, son los arenosos, los areno-limosos, los franco-arenosos y las gravas, aunque también se han realizado experiencias en Websy (Wisconsin, USA) en suelos franco limosos con resultados esperanzadores, pero con limitaciones en los volúmenes de vertido

Las arenas y gravas gruesas no son materiales ideales para su uso en este sistema debido a que la infiltración y percolación son demasiado elevadas, sobre todo en los primeros horizontes del suelo, que es donde está localizada la actividad bioquímica más intensa, en lo que se refiere a los horizontes inferiores, la permeabilidad, como movimiento horizontal o como percolación, debe ser igual a superior, por supuesto a la capacidad de infiltración

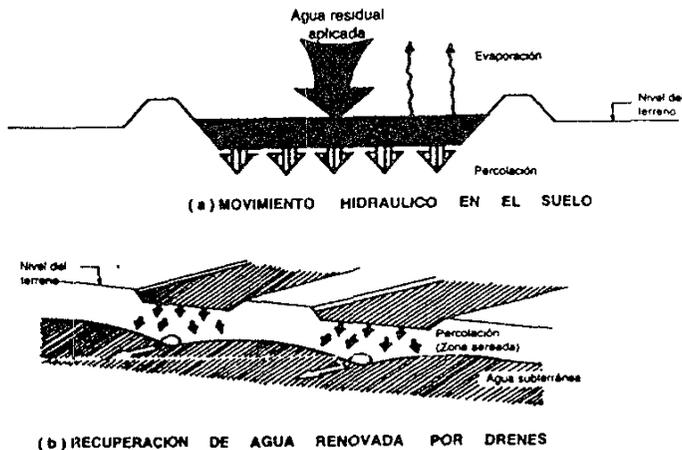
de los horizontes superiores, el sistema se caracteriza por el alto grado de depuración de las aguas residuales

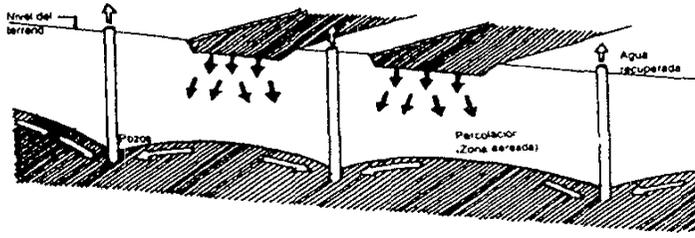
Si la planificación y el manejo se efectúan correctamente, el rendimiento es casi total para los sólidos suspendidos y los coliformes. El fósforo es depurado del 70 al 95%, la DBO oscilará, en el rendimiento de un 85% al 98% los detergentes son depurados en un 90%, el nitrógeno puede oscilar entre el 30 al 80%

Los mecanismos de absorción en este sistema no funcionan a pleno rendimiento a causa de la textura gruesa del suelo y es por ello por lo que los metales pesados no suelen ser bien depurados, los métodos en profundidad se basan en pozos de inyección (fig IV.1.2) por los cuales se aplica el agua directamente a mezclarse con el acuífero que es del tipo confinado o artésiano, en estos sistemas, el agua residual deberá tener una calidad al menos igual o mejor a la del agua subterránea con la que se mezclará

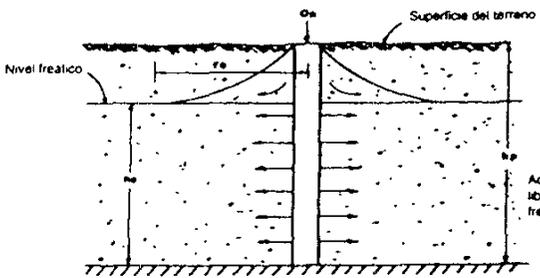
El mayor o menor éxito del método aplicado, dependería de una buena adaptación al terreno, subsuelo, tipo de agua, necesidades y condicionantes socioeconómicas de la zona en la que se planea realizar la recarga artificial de acuíferos con aguas residuales mediante métodos de infiltración superficial, se cuenta actualmente métodos de infiltración superficial, se cuenta actualmente con un anteproyecto de norma oficial mexicana NOM-008-CNA-1997 que establece los requerimientos mínimos para la disposición de agua al suelo y subsuelo, con objeto de proteger los mantos acuíferos, clasificandolos como de vulnerabilidad alta, media o baja, considerando parámetros contaminantes básicos patógenos y parásitos tóxicos y refractarios, así mismo para la recarga artificial de acuíferos con agua residuales mediante métodos de inyección directa en pozos, la comisión Nacional del agua tiene considerado elaborar una norma oficial mexicana

Figura IV.1.1





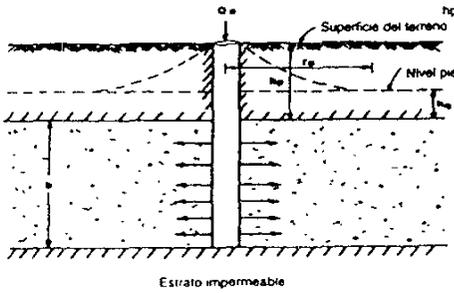
(c) RECUPERACION DE AGUA RENOVADA POR POZOS



(a) CONDICIONES LIBRES

SIMBOLOGIA.

- $Q_R =$ Caudal de recarga
- $r_e =$ Radio de influencia del cono de recarga.
- $h_0 =$ Carga estática del acuífero freático o carga estática por encima del espesor del acuífero confinado
- $b =$ Espesor del estrato acuífero
- $h_p =$ Profundidad hasta el primer estrato impermeable (a) o espesor del estrato impermeable superior (b)



(b) CONDICIONES CONFINADAS

Acuífero confinado artesiano

Figura IV.1.2

IV.2 FACTIBILIDAD ECONOMICA

La administración del recurso hidraulico subterráneo en México se ha dado en función de las entidades que han manejado los recursos hidráulicos en el pasado, SRH, SARH, CNA, así como sus correspondientes áreas que manejaron las aguas subterráneas, DAS, DGZA, GAS, aunque propiamente la administración se daba dentro de los diferentes comités intersectoriales, Comité de Pozos, Comité Planificador del Agua, Comités Estatales del Agua, que se formaban con representantes de las diferentes áreas involucradas en la administración del recurso, agua potable, distritos de riego, geohidrología y zonas áridas y actualmente los Comités Internos de Administración del Agua, mediante la intervención del área de aguas subterráneas, en las gerencias estatales

Actualmente la administración del agua subterránea se da principalmente entre la Subdirección General de Administración del Agua como principal vía para la recepción de solicitud de perforaciones, concesiones o asignaciones para la explotación del agua del subsuelo, descargas de aguas residuales, etc., a su vez la SGAA¹ las turna a las áreas involucradas (dependiendo de la delegación de funciones vigente, hacia las gerencias estatales y regionales); aguas superficiales, aguas subterráneas, saneamiento y calidad del agua, para emitir los dictámenes correspondientes

En la actualidad se tiene información de 632 acuíferos evaluados, cubriéndose una superficie de 965,854Km², donde se localizan aproximadamente 145,710 aprovechamientos inventariados, que aprovechan agua subterránea para los diferentes usos del agua, según la evaluación actual de estos acuíferos, se tiene un volumen de recarga de 65,633Mm³, en tanto que la explotación alcanza un volumen de extracción de 26,013Mm³, induciéndose aparentemente un diferencial recarga-extracción positivo de 39,475Mm³, que ha provocado que las condiciones geohidrológicas actuales en 272 acuíferos del país, sean de sobreexplotación, y en los restantes 360 sean de subexplotación, presentándose actualmente una disponibilidad excedente a nivel nacional de 39,475Mm³/año, para las necesidades de futuras generaciones, que se deberán manejar racionalmente bajo criterios de sustentabilidad con respecto al total explotado a escala nacional, por los diferentes sectores usuarios del agua

Se tiene como ya se ha mencionado un total de 145,710 aprovechamientos localizados en 632 acuíferos en los que el volumen de recarga es de 65,633Mm³, en tanto que la explotación alcanza un volumen de extracción de 26,013Mm³, induciéndose a nivel nacional, aparentemente un diferencial recarga-extracción positivo de 39,475Mm³, aunque éste es influenciado por los estados que se localizan hacia las porciones centro y sureste de la República, donde la recarga es mucho mayor que la explotación, el uso agrícola utiliza el 70% del total extraído de agua subterránea, el uso público urbano, consume el 22% mientras que el uso doméstico consume sólo un 2% del total extraído y finalmente el uso industrial aprovecha el 6% del total explotado, para efectos de manejo y administración de

¹ SGAA al glosario

acuiferos, se puede hacer una clasificación de los acuiferos con base en la disponibilidad excedente.

Para los 360 acuiferos con disponibilidad la extracción es de 11,033 24Mm³/año, que se lleva a cabo por medio de 84,566 aprovechamientos, mientras que la recarga es de 54,049 4Mm³/año, existiendo una disponibilidad de 42,8671Mm³/año, el uso agrícola utiliza el 70% del total extraído de agua subterránea, el uso publico urbano, consume el 22% mientras que el uso doméstico consume sólo un 2% del total extraído y finalmente el uso industrial aprovecha el 6% del total explotado

Para los 272 acuiferos sin disponibilidad la extracción se realiza por medio de 61,144 aprovechamientos, es de 11,033 24Mm³/año, mientras que la recarga es de 54,049 4Mm³/año existiendo una disponibilidad de 42,867 1Mm³/año, el uso agrícola aprovecha el 71% del total extraído de agua subterránea, el uso publico urbano, utiliza el 19% mientras que el uso doméstico utiliza sólo un 2% del total extraído y finalmente el uso industrial utiliza el 8% del total explotado, la disponibilidad excedente se definirá de acuerdo con la propuesta de metodología de la GAS para definir la disponibilidad, a partir de

Disponibilidad de Agua Subterránea (DAS): Cantidad máxima de agua subterránea susceptible de ser concesionada de una UH para los diferentes usos humanos, dentro de un marco de desarrollo sustentable, sin mermar las descargas naturales comprometidas o concesionadas ni provocar efectos ambientales adversos

Esta definición, propuesta para los fines del programa que se está emprendiendo, es análoga a los conceptos de "Rendimiento Permanente", "Rendimiento Seguro" o "Rendimiento Perenne", utilizados en la literatura especializada por lo que la disponibilidad quedará definida como

Disponibilidad Excedente de Agua Subterránea (DEAS): Diferencia entre la disponibilidad de agua subterránea y el volumen concesionado

Unidad Hidrogeológica (UH): Acuífero regional o porción del mismo, considerada para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas subterráneas

Recarga (R): Volumen medio anual de agua que recibe una UH, en un intervalo de tiempo especificado. La recarga puede tener tres componentes, denominadas por convención Natural, Inducida y Artificial

Recarga Natural (Rn): Volumen medio anual de agua que recibe una UH, por infiltración directa de la lluvia y de escurrimientos superficiales no controlados

Recarga Inducida (Ri): Volumen medio anual de agua que recibe una UH, adicional a su recarga natural, como consecuencia del desarrollo

Este componente incluye la alimentación generada en las zonas regadas con agua superficial por infiltración en las redes de conducción/distribución y la recirculación en las zonas de riego por bombeo; las fugas en las redes hidráulicas y depósitos de las zonas urbano-industriales, la infiltración en los cursos o cuerpos de agua superficial, incidental o intencionalmente inducida

Recarga Artificial (Ra): Volumen de agua que recibe una UH a través de obras construidas con el propósito específico de incrementar su alimentación. Esta recarga puede ser directa, cuando el agua es inyectada al acuífero mediante pozos, o indirecta, cuando se lleva a cabo mediante obras superficiales o inyección en la zona no saturada.

Reserva Almacenada (RA): Volumen de agua almacenado por un acuífero en una fecha específica

Descarga Comprometida (DCOM): Fracción de las descargas naturales de una UH, que debe ser sostenida por desempeñar una función ecológica o hidrogeológica relevante, se refiere a las descargas que sostienen un gasto ecológico (vegetación nativa, fauna, lagos, ecosistemas costeros u otros) o que impiden la inmigración de agua de mala calidad a la UH (intrusión salina por ejemplo)

Descarga Concesionada (DCON): Fracción de las descargas naturales de una UH, que está concesionada para los diferentes usos, se refiere a la fracción de la descarga de los manantiales y del caudal base de los ríos, que está concesionada como agua superficial, y a las salidas subterráneas que están concesionadas en una zona adyacente aguas abajo

Volumen Concesionado (VCON): Volumen anual de agua subterránea de una UH, cuya extracción y uso están amparados por títulos de asignación o concesión

Extracción Real de Agua Subterránea (ERAS): Volumen anual de agua subterránea que se extrae de una UH, independientemente de la situación administrativo/legal de los usuarios

La ERAS y el VCON de una UH puede diferir. Actualmente, la ERAS es mayor que el VCON en la mayoría de los casos, porque todavía existen numerosos aprovechamientos clandestinos y muchos que captan volúmenes de agua mayores que los autorizados, como resultado del programa de regularización, la diferencia entre ambos tenderá a reducirse, aunque puede darse el caso inverso de que el VCON sea mayor que la ERAS, debido a aprovechamientos extraídos

La magnitud de este término determina si es procedente otorgar nuevas concesiones sobre volúmenes de agua subterránea

IV.3 APLICACION INDUSTRIAL Y TURISTICA

El agua es esencial prácticamente en todas sus aplicaciones industriales, pero sólo en raras ocasiones es posible utilizarla tal y como se extrae de una corriente, un lago o un pozo, si no se toman las precauciones necesarias, las impurezas que contiene a causa de la contaminación natural o artificial pueden afectar gravemente tanto a los equipos como a los productos

Contaminación natural, el agua absolutamente pura es una rareza en los laboratorios, incluso cuando no está contaminada con aguas negras o desechos industriales, el agua cruda tal como se encuentra en la naturaleza siempre lleva sustancias extrañas, las impurezas más comunes son gases disueltos, como dióxido de carbono y oxígeno y material mineral soluble, incluyendo iones metálicos tales como los de calcio, magnesio, hierro y sodio que se mantienen en equilibrio químico con aniones del tipo del sulfato, bicarbonato, carbonato y otros, estas sustancias van disolviéndose conforme el agua fluye sobre la tierra o se filtra a través de ella

El agua cruda contiene cantidades variables de materia orgánica disuelta o dispersa, ejemplo evidente de ello se encuentra en los drenajes de turberas y pantanos de cipreses, en sistemas de canales de granjas, y en los productos de descomposición de plantas y animales acuáticos que murieron a causa de los cambios en el clima o en el medio ambiente

En las corrientes la mayor parte de la materia orgánica desaparece a lo largo de una distancia relativamente corta, debido a la capacidad purificadora de los organismos de dicha corriente, que la utilizan como alimento, algunas sustancias orgánicas, por ejemplo los humatos y los tanatos, son muy resistentes a la destrucción bioquímica y su color puede persistir en forma casi indefinida, la acumulación natural de impurezas en el agua es el resultado de los procesos químicos y físicos que se llevan a cabo en forma espontánea y no se puede hacer mucho por evitarla, por lo contrario, la contaminación proveniente de las descargas de desechos municipales e industriales sí puede controlarse

La contaminación de las corrientes se inició con la aparición de las primeras comunidades establecidas, los hombres encontraron muy conveniente deshacerse de los materiales indeseables vaciándolos a las corrientes naturales de agua, porque estas los arrastran con gran rapidez, no fue sino hasta la revolución industrial cuando en los Estados Unidos la contaminación de las corrientes se convirtió en un problema y la introducción de los sistemas de drenaje alrededor de 1855, comenzó a ejercer sus propios efectos, la contaminación aumentó en forma constante conforme la industria manufacturera creció y las comunidades se hicieron cada vez más grandes

Dar énfasis a los subgrupos industriales que requieren mayor atención tanto para su registro como para el control de las aguas residuales, como son metálicas básicas, explotación mineral, productos metálicos, industria petrolera, química-petroquímica,

celulosa y papel, industria textil, curtiduría, e industria alimenticia, en especial a los beneficios del café, industria azucarera, industria cervecera, industria vitivinícola e industria pesquera.

Orientar la adecuada ubicación de nuevas industrias, mediante la difusión de material técnico y ambiental relacionado con el agua, para que la disponibilidad del agua y las condiciones de descarga sean factores conocidos y decisivos en la toma de decisiones.

Promover el reuso de aguas residuales tratadas para reducir los volúmenes de extracción de agua, especialmente cuando provenga de acuíferos sobreexplotados se determinarán y verificarán los volúmenes de agua que utilizan y descargan los usuarios industriales en cantidad y calidad, y se promoverá el uso eficiente del agua y el tratamiento de las aguas residuales mediante incentivos económicos, especialmente con los grandes usuarios, tales como las industrias de azúcar, hierro y acero, papel y celulosa, alimentos, extracción de minerales, petroquímica y química básica, en coordinación con la Procuraduría de Protección al ambiente

El registro y control de las extracciones y descargas, se llevarán a cabo, con énfasis en atender primero a las industrias más consumidoras o contaminadoras de agua, de acuerdo a los procesos y la magnitud de producción, se impulsará la adquisición de títulos de aprovechamiento del agua en el sector industrial, mediante el desarrollo de un marco legal que permita crear un ambiente de mayor certidumbre que fomente la inversión a largo plazo.

Turística

Apoyar a la Secretaría de Turismo (SECTUR) en aspectos técnicos y normativos para que en coordinación con los gobiernos estatales y municipales, se logre la participación del sector privado y social en

- El saneamiento y cuidado de los cuerpos de agua en los centros de playa de Huatulco, Cancún, Ixtapa-Zihuatanejo, Loreto, Los Cabos, Cozumel, Acapulco, La Paz, Mazatlán, Manzanillo, Puerto Vallarta y Veracruz.
- El rescate y uso en actividades recreativas de algunos cuerpos de agua cercanos a las tres grandes ciudades Distrito Federal, Guadalajara y Monterrey, y a los 33 centros turísticos del interior.
- El aprovechamiento para fines turísticos de algunos de los 850 sitios asociados a cuerpos de agua, tanto en el interior de la República Mexicana como en las costas del Océano Pacífico y Golfo de México, identificados por SECTUR con alto potencial recreativo y turístico, y
- La obtención de reconocimientos internacionales para sitios con calidad en los cuerpos de agua

- Apoyar los mecanismos de coordinación entre los gobiernos federal, estatal y municipal para comprometer a los empresarios de este sector y a la población aledaña a los centros turísticos a participar en la conservación de los cuerpos de agua, como elemento básico para la sustentabilidad de las actividades turísticas
- Se apoyará el saneamiento de las zonas turísticas en las que se planea realizar la recarga artificial de mayor afluencia como en el caso del Sistema Lagunar Nichupté en Quintana Roo y la zona urbana de Acapulco

En apoyo al Programa de Desarrollo del Sector Turismo 1995-2000, se buscará la participación de los empresarios del turismo en la restauración y conservación de los cuerpos de agua con vocación y potencial turístico, destacando las ventajas que puede significar la ubicación geográfica en los grandes mercados, las particularidades naturales y la competitividad en el costo de los servicios turísticos.

Se promoverá con SECTUR y los gobiernos estatales y municipales, la participación de los usuarios en la vigilancia y cuidado de los cuerpos de agua utilizados para actividades turísticas, con el apoyo de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA)

Se dará apoyo técnico a SECTUR para que conozca la calidad del recurso en cuerpos de agua que puedan destinarse a actividades turísticas, se fomentará la cultura del agua entre empresarios y habitantes de las localidades aledañas a los centros de playa, como una forma de propiciar el crecimiento económico de los centros turísticos en un ambiente que fortalezca la salud pública y el desarrollo sostenido de los ecosistemas

**ANÁLISIS Y
DESCRIPCIÓN DE LA
PLANTA DE
TRATAMIENTO
TERCIARIO**

V. ANALISIS Y DESCRIPCION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO TERCARIO

La Planta de Tratamiento Terciario se diseñó y construyó para obtener agua renovada de calidad adecuada para su infiltración en acuíferos, pero también para usos industriales, recreativos y municipales

El sistema construido tiene capacidad de 50l/s y utiliza procesos físico-químicos como base de la purificación, el influente viene del tratamiento secundario de la planta de lodos activados

Se integra con las siguientes operaciones y procesos unitarios

Remoción de elementos tensoactivos (detergentes) mediante un fraccionador de espumas, el agua cruda ingresa al sistema por dicho fraccionador, compuesto por dos tanques que trabajan en serie, equipados con aueación por difusión para la formación de espuma, lográndose 75% de eficiencia en la remoción de detergentes

Mezcla rápida de reactivos químicos en unidad aforadora Parshall, donde se agregan los reactivos químicos floculantes, que se mezclan en el tanque de floculación de paletas de eje vertical, en esta unidad de tratamiento, que está integrada por tres cámaras, se propicia el aglutinamiento de las partículas coloidales y la formación de floculos mediante la mezcla lenta; a continuación pasa a los tanques de sedimentación, clarificadores de placas paralelas de alta tasa, el agua floculada se reparte en dos unidades de clarificación vinculadas a los tanques de floculación, en los que los floculos se sedimentan y remueven del proceso, pasando el agua clarificada a filtración, lo que se realiza por gravedad en un medio dual de antracita-arena.

Se utilizan cuatro unidades de filtración de flujo descendente que tienen 45cm de antracita y 30cm de arena, su operación es del tipo de "tasa variable declinante", y el lavado de cada filtro se realiza con el caudal afluente de los tres filtros

Después de esta filtración se pasa a la remoción de compuestos orgánicos residuales en unidades abiertas de carbón activado granular, aquí se remueven color, detergente y DQO residuales, el sistema de carbón activado está integrado por cinco unidades abiertas de flujo descendente, equipadas con un lecho de carbón activado granular (tamaño 8 por 30US) de 1.6m de espesor, que proporciona un tiempo de contacto de 15 min

Finalmente, el agua pasa del tanque de contacto al proceso de cloración, de donde es bombeada para ser inyectada a presión en los acuíferos, así se destina para su reuso en servicios que requieren agua de esta calidad

Teniendo en cuenta el carácter experimental del proyecto, en una segunda etapa se contempla la posibilidad de poder usar el lino acuatico como medio de remover metales pesados, detergentes y salinidad, así como osmosis inversa para la remoción de sales y

virus, existe una línea de conducción de ocho pulgadas de diámetro que parte del tanque de cloración de la planta de tratamiento terciario y llega hasta los pozos RA-1 y RA-2, esta línea es la que dotará del agua para infiltrar a los pozos y tiene una longitud de 100m.

Se incluye también, como parte del proceso, tres pozos dos de 200m y uno de 160m de profundidad (fig V.1), un tubo ranurado a 12 metros, 8 piezómetros de dos pulgadas de diámetro y 80m de profundidad, dos piezómetros de 6 pulgadas de diámetro y 180 y 160m de profundidad respectivamente, a continuación se presenta un diagrama de flujo de esta planta (fig V.2)

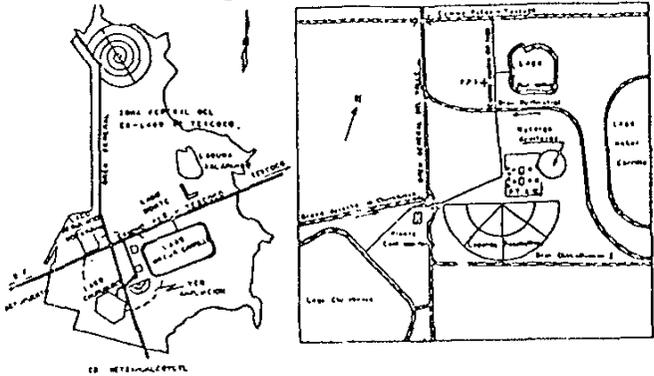
Con auxilio de la Dirección de Aguas Subterráneas de la Dirección General de Administración y Control de Sistemas Hidrológicos de la S.A.R.H. (DGACSH, 1987), se perforaron tres pozos del tipo Halliburton, con ademe telescópico comenzando con un tubo de 24" de diámetro de ademe externo, y llegando hasta la tubería de 10" de diámetro, en la parte inferior, el ademe es ciego de 0 a 70m y ranurado de 70 a 200 metros (fig. V.1).

Cabe señalar que de los tres pozos perforados, dos eran para observación y muestreo y el tercero era para la recarga, propiamente dicha, sin embargo, dada la baja respuesta obtenida a la infiltración por esos pozos, cuyo principal receptor iba a ser un estrato limo-arenoso, debieron emplearse a la inversa utilizando dos pozos para recarga y el tercero para observación, los pozos en cuestión fueron aforados y a la extracción producían 50l/s (Constructora LEG, S.A. 1986), cada pozo aceptó 27 l/s, a la inyección

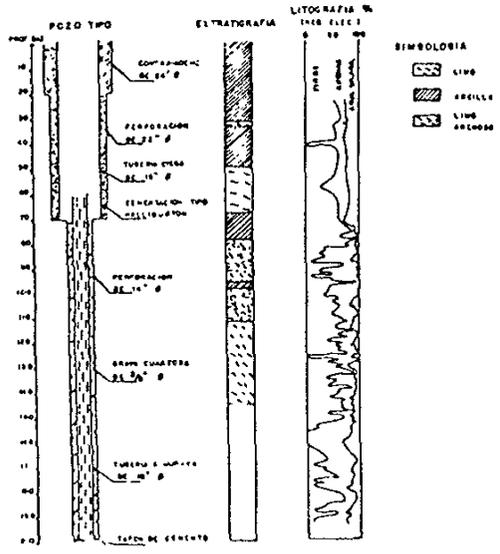
Para el diseño de las estructuras principales que constituyen la Planta de Tratamiento, se establecieron como criterios básicos, en base al Proyecto Hidráulico Sanitario Preliminar, las siguientes condiciones

- El funcionamiento hidráulico debería ser por gravedad desde el tanque de floculación hasta el tanque de contacto de cloro, debiendo asegurarse siempre esta situación
- Los movimientos diferenciales de las estructurales deberían ser lo más reducido posible a fin de evitar que se ladearan de tal forma que fueran inoperables
- La separación entre estructuras debería ser la que redujera la posibilidad de interacción de esfuerzos, a fin de evitar que un cuerpo produjera asentamientos en otro
- El esfuerzo efectivo transmitido al terreno de cimentación debería ser el que produjera los menores asentamientos totales y diferenciales, limitándose el esfuerzo a 1 5ton/m² aproximadamente
- La estabilidad de las excavaciones durante el proceso constructivo debería permitir la ejecución de la obra en un plazo corto de tiempo

- La cimentación elegida debería ser la más económica posible y asegurar un comportamiento satisfactorio durante la operación, excluyendo esta condición a la solución de cimentación a base de pilotes
- Para la determinación de pesos de estructura, se consideraron pesos específicos de concreto armado, simple y arena-grava-antracita en filtros de 2,4, 2,2 y 2,0 ton/m³ respectivamente, los pesos de elementos metálicos se consideraron tomando los mencionados fabricantes nacionales. El peso volumétrico del agua de proceso se consideró de 1 ton/m³, siendo ligeramente superior al real



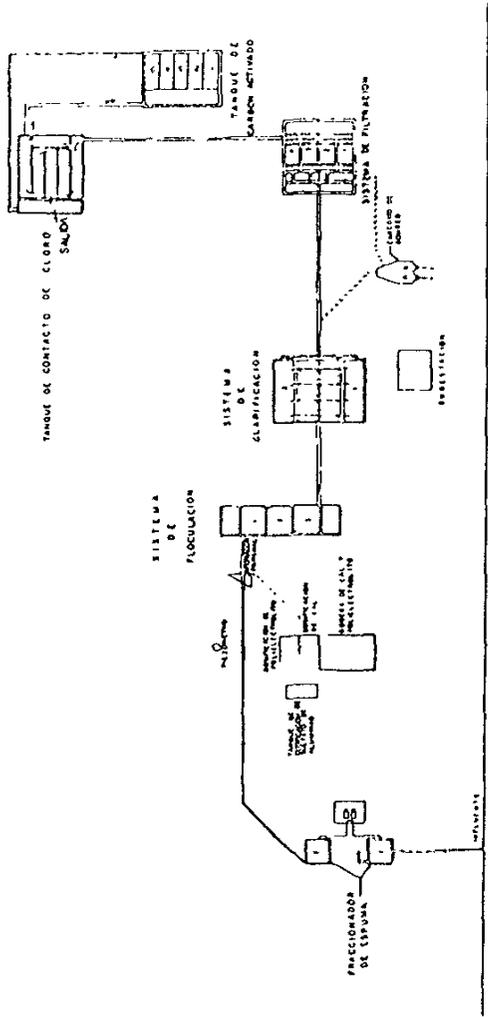
CROQUIS DE LOCALIZACION DEL MODULO.



CORTE LITOLÓGICO DEL POZO PRA-2
COMISION LAGO DE TEXCOCO

Figura V.1

2

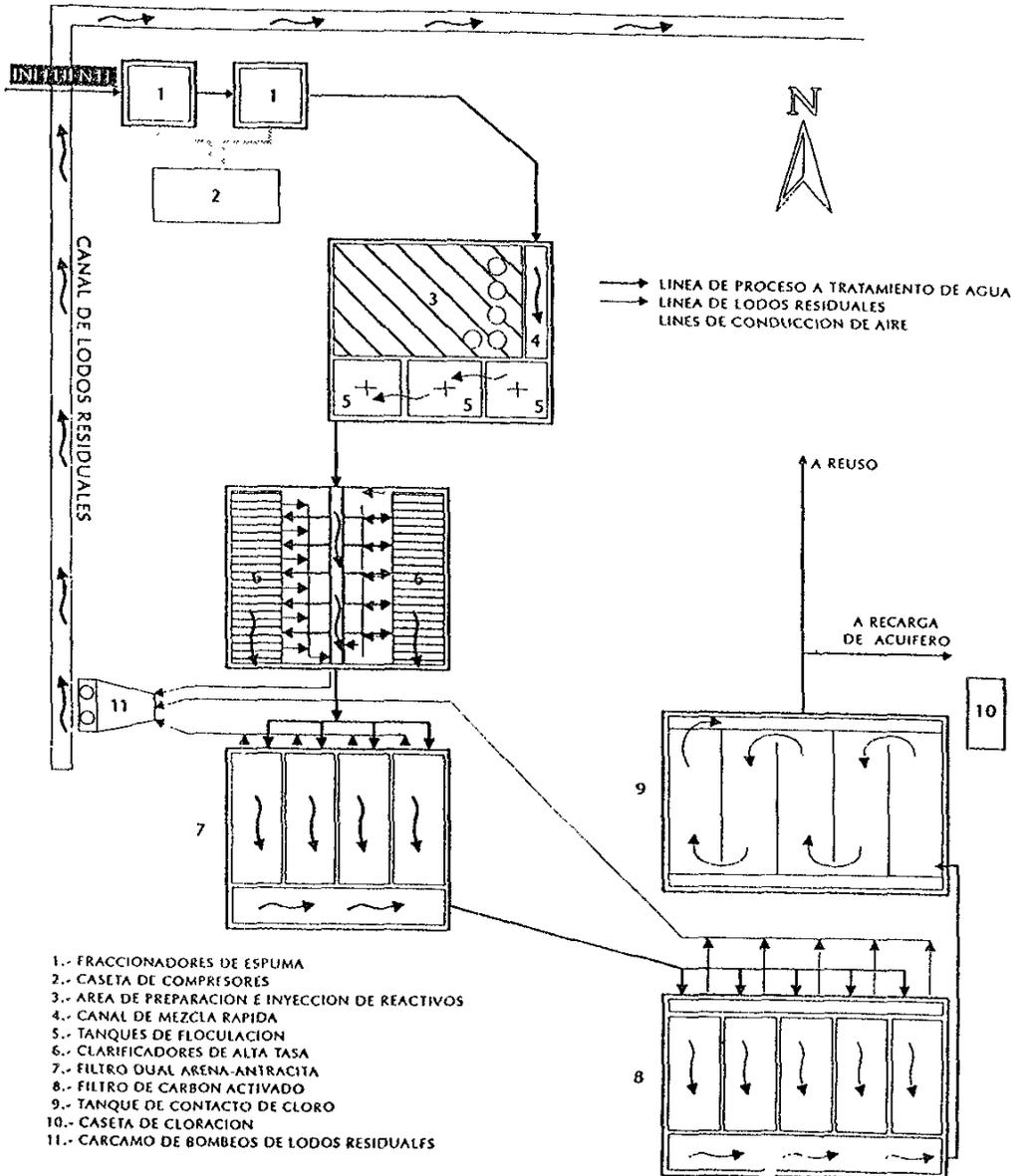


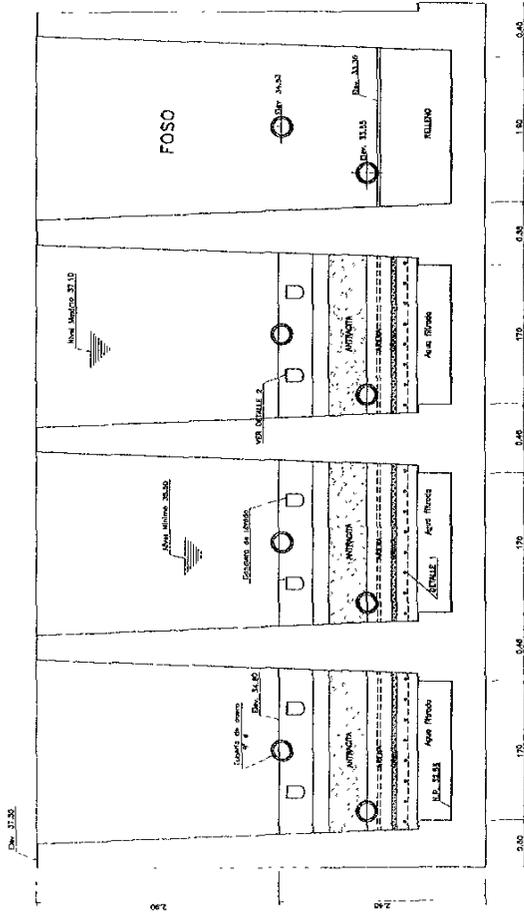
PLANTA DE LOSOS ACTIVADOS

MODULO DE TRATAMIENTO TERCIARIO
DIAGRAMA DE FLUJO

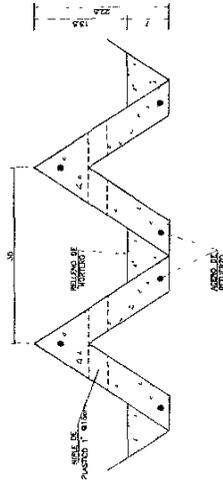
Figura V.2

Esquema de la planta de tratamiento terciario





FILTRO DUAL ARENA ANTRACITA



COMISION DEL LADO DE TENDIDO
 311 AVENIDA DE INVEST. Y DESARROLLO
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 INSTITUTO DE INVEST. Y DESARROLLO
 PROYECTO DE INVEST. Y DESARROLLO
 OFICINA DE INVEST. Y DESARROLLO
 PARRISKALL - FLOCULADOR
 PROYECTO DE INVEST. Y DESARROLLO
 E-03

COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN

TABLA DE DATOS BÁSICOS

I.- DATOS BÁSICOS DE MANO DE OBRA

<u>CATEGORÍA</u>	<u>SALARIO BASE</u>	<u>FACTOR</u>	<u>SALARIO REAL</u>
SOBRESTANTE	10,000	1,54	15,400
OPERADOR	6,000	1,54	9,240
CHOFER	5,470	1,54	8,423
ALBAÑIL	5,345	1,54	8,231
OFICIAL	5,345	1,54	8,231
SOLDADOR	5,270	1,54	8,116
PEÓN	3,600	1,54	5,820

II.- DATOS BÁSICOS DE MATERIALES

<u>CATEGORÍA</u>	<u>COSTO EN OBRA</u>
Cimbra metálica	60,00 M2
Cemento	900,00 T.
Arena	70,00 M3
Grava	70,00 M3
Agua	1000,00 M3
Acero de refuerzo	326000,00 T
Acero estructural	5,55 T
Imp. integral	28,00
Curacreto	22,00 Lt.
Soldadura	40,00 kg

III.- DATOS BÁSICOS DE MATERIALES

<u>CATEGORÍA</u>	<u>COSTO HORARIO</u>
Revolvedora de un saco	2807 Hr
Vibrador	1442 Hr.
Camión volteo de 7 m3	15218 Hr
Camión Pipa de 8000 Lts	15218 Hr
Trascavo Mf-50	11584 Hr
Soldadora de 240 Amp	7214 Hr
Retro Ford 555	193,53 Hr.

ANÁLISIS DE COSTO HORARIO

FECHA:	ENERO DE 1998.
MAQUINA Y/O EQUIPO:	REVOLVEDORA DE 1 SACO

PRECIO DE ADQUISICIÓN	(Pa)	16,520.00	COEF. COMBUSTIBLE	(c)	0.2271
EQUIPO ADICIONAL	(Ea)		PRECIO COMBUSTIBLE	(Pc)	2.79
VALOR DE LLANTAS	(Vn)		CAPACIDAD CÁRTER	(C)	1.00
VALOR DE ADQ.	(Va-Pa+Ea-Vn)	16,520.00	CAMBIO LUBRICANTE	(T)	50.00
VALOR DE RESCATE	(Vr-%Va)	2,478.00	COEF. LUBRICANTE	(aL)	0.00307
VIDA ECONÓMICA MAQ.	(Ve)	6,000.00	PRECIO LUBRICANTE	(PL)	13.50
VIDA ECONÓMICA LLANTAS	(Hv)		TASA INTERÉS ANUAL	(i)	0.30
HORAS POR AÑO	(Ha)	1,200.00	PRIMA ANUAL SEGURO	(s)	0.025
POTENCIA	(J)	4.00	FACTOR MANTENIMIENTO	(Q)	1.00
POTENCIA DEL EQUIPO	(HP)	4.00	FACTOR OPERACIÓN	(Fo)	1.00
SALARIO DE OPERACIÓN	(So)	55.30			

CARGOS FIJOS					
DEPRECIACIÓN	D=	$\frac{Va-Vr}{Ve}$			2.34
INVERSIÓN	I=	$\frac{Va+Vr}{2Ha}$	i		2.37
SEGURO	I=	$\frac{Va+Vr}{2Ha}$	s		0.20
MANTENIMIENTO	T=	QXD			2.34
SUBTOTAL:					7.25
CARGO CONSUMOS					
COMBUSTIBLES	E=	$cxHP \times Pc$			2.53
LUBRICANTES	AL=	$(C/TxPL) + (aLxHP \times PL)$			0.27
LLANTAS	H=	(Vn/Hv)			
SUBTOTAL:					2.81
CARGO OPERACIÓN					
OPERADOR	Co=	$(So/Ha) \times \text{Días por año}$			13.36
COSTO DIRECTO					23.42

ANÁLISIS DE COSTO HORARIO

FECHA:	ENERO DE 1998
MAQUINA Y/O EQUIPO	VIBRADOR DE CONCRETO

PRECIO DE ADQUISICIÓN (Pa)	12,580.00	COEF COMBUSTIBLE (c)	0.2271
EQUIPO ADICIONAL (Ea)		PRECIO COMBUSTIBLE (Pc)	2.79
VALOR DE LLANTAS (Vn)		CAPACIDAD CÁRTER (C)	1.00
VALOR DE ADQ. (Va-Pa+Ea-Vn)	12,580.00	CAMBIO LUBRICANTE (T)	100.00
VALOR DE RESCATE (Vr-%Va)	2,516.00	COEF LUBRICANTE (aL)	0.00307
VIDA ECONÓMICA MAQ (Ve)	6,000.00	PRECIO LUBRICANTE (PL)	13.50
VIDA ECONÓMICA LLANTAS (Hv)		TASA INTERÉS ANUAL (i)	0.30
HORAS POR AÑO (Ha)	1,200.00	PRIMA ANUAL SEGURO (s)	0.025
POTENCIA (J)	4.0	FACTOR MANTENIMIENTO (Q)	0.60
POTENCIA DEL EQUIPO (HP)	4.0	FACTOR OPERACIÓN (Fo)	0.60
SALARIO DE OPERACIÓN (So)	55.30		

CARGOS FIJOS			
DEPRECIACIÓN	$D = \frac{Va - Vr}{Ve}$		1.68
INVERSIÓN	$I = \frac{Va + Vr}{2Ha} i$		1.89
SEGURO	$I = \frac{Va + Vr}{2Ha} s$		0.16
MANTENIMIENTO	$T = QXD$		1.01
SUBTOTAL:			
CARGO CONSUMOS			
COMBUSTIBLES	$E = cxHP \times Pc$		2.53
LUBRICANTES	$AL = (C/T \times PL) + (aL \times HP \times PL)$		0.14
LLANTAS	$H = (Vn/Hv)$		
SUBTOTAL:			2.67
CARGO OPERACIÓN			
OPERADOR	$Co = (So/Ha) \times \text{Días por año}$		13.36
COSTO DIRECTO			20.76

ANÁLISIS DE COSTO HORARIO

FECHA:	ENERO DE 1998
MAQUINA Y/O EQUIPO:	CAMIÓN PIPA DE 8000 LTS.

PRECIO DE ADQUISICIÓN	(Pa)	258,950.00	COEF. COMBUSTIBLE	(c)	0.1514
EQUIPO ADICIONAL	(Ea)	30,000.00	PRECIO COMBUSTIBLE	(Pc)	2.67
VALOR DE LLANTAS	(Vn)	10,800.00	CAPACIDAD CÁRTER	(C)	53.00
VALOR DE ADQ	(Va-Pa+Ea-Vn)	248,150.00	CAMBIO LUBRICANTE	(T)	100.00
VALOR DE RESCATE	(Vr-%Va)	49,630.00	COEF LUBRICANTE	(aL)	0.00358
VIDA ECONÓMICA MAQ.	(Ve)	20,000.00	PRECIO LUBRICANTE	(PL)	13.00
VIDA ECONÓMICA LLANTAS	(Hv)	2,000.00	TASA INTERÉS ANUAL	(i)	0.26
HORAS POR AÑO	(Ha)	2,000.00	PRIMA ANUAL SEGURO	(s)	0.025
POTENCIA	(J)	155.00	FACTOR MANTENIMIENTO	(Q)	0.70
POTENCIA DEL EQUIPO	(HP)	155.00	FACTOR OPERACIÓN	(Fo)	0.70
SALARIO DE OPERACIÓN	(So)	72.75			

CARGOS FIJOS					
DEPRECIACIÓN	D=	$\frac{Va-Vr}{Ve}$			9.93
INVERSIÓN	I=	$\frac{Va+Vr}{2Ha} \cdot i$			19.36
SEGURO	I=	$\frac{Va+Vr}{2Ha} \cdot s$			1.86
MANTENIMIENTO	T=	QXD			6.95
SUBTOTAL:					38.09
CARGO CONSUMOS					
COMBUSTIBLES	E=	cxHPxPc			62.66
LUBRICANTES	AL=	(C/TxPL)+(aLxHPxPL)			6.93
LLANTAS	H=	(Vn/Hv)			5.40
SUBTOTAL:					74.99
CARGO OPERACIÓN					
OPERADOR	Co=	(So/Ha)xDías por año			10.55
COSTO DIRECTO					123.63

ANÁLISIS DE COSTO HORARIO

FECHA.	ENERO DE 1998
MAQUINA Y/O EQUIPO:	CAMIÓN VOLTEO DE 7 M ³ .

PRECIO DE ADQUISICIÓN	(Pa)	258,950.00	COEF. COMBUSTIBLE	(c)	0.1514
EQUIPO ADICIONAL	(Ea)	30,000.00	PRECIO COMBUSTIBLE	(Pc)	2.67
VALOR DE LLANTAS	(Vn)	10,800.00	CAPACIDAD CÁRTER	(C)	53 00
VALOR DE ADQ.	(Va-Pa+Ea-Vn)	248,150 00	CAMBIO LUBRICANTE	(T)	100 00
VALOR DE RESCATE	(Vr-%Va)	49,630.00	COEF. LUBRICANTE	(aL)	0 00358
VIDA ECONÓMICA MAQ	(Ve)	20,000.00	PRECIO LUBRICANTE	(PL)	13 00
VIDA ECONÓMICA LLANTAS	(Hv)	2,000.00	TASA INTERÉS ANUAL	(i)	0 26
HORAS POR AÑO	(Ha)	2,000 00	PRIMA ANUAL SEGURO	(s)	0 025
POTENCIA	(J)	155 00	FACTOR MANTENIMIENTO	(Q)	0 70
POTENCIA DEL EQUIPO	(HP)	155.00	FACTOR OPERACIÓN	(Fo)	0 70
SALARIO DE OPERACIÓN	(So)	72.75			

CARGOS FIJOS					
DEPRECIACIÓN	D=	$\frac{Va-Vr}{Ve}$			9.93
INVERSIÓN	I=	$\frac{Va+Vr}{2Ha}$	i		19.36
SEGURO	I=	$\frac{Va+Vr}{2Ha}$	s		1 86
MANTENIMIENTO	T=	QXD			6.95
SUBTOTAL:					38.09
CARGO CONSUMOS					
COMBUSTIBLES	E=	cxHPxPc			62.66
LUBRICANTES	AL=	(C/TxPL)+(aLxHPxPL)			6 93
LLANTAS	H=	(Vn/Hv)			5 40
SUBTOTAL:					74.99
CARGO OPERACIÓN					
OPERADOR	Co=	(So/Ha)xDías por año			10 55
COSTO DIRECTO					123.63

ANÁLISIS DE COSTO HORARIO

FECHA:	ENERO DE 1998
MAQUINA Y/O EQUIPO:	RETRO FORD 555

PRECIO DE ADQUISICIÓN (Pa)	380,900.00	COEF COMBUSTIBLE (c)	0.1514
EQUIPO ADICIONAL (Ea)		PRECIO COMBUSTIBLE (Pc)	2.67
VALOR DE LLANTAS (Vn)	23,200.00	CAPACIDAD CÁRTER (C)	30.00
VALOR DE ADQ. (Va-Pa+Ea-Vn)	357,700.00	CAMBIO LUBRICANTE (T)	100.00
VALOR DE RESCATE (Vr-%Va)	35,770.00	COEF LUBRICANTE (aL)	0.00358
VIDA ECONÓMICA MAQ. (Ve)	12,600.00	PRECIO LUBRICANTE (PL)	13.00
VIDA ECONÓMICA LLANTAS (Hv)	2,000.00	TASA INTERÉS ANUAL (i)	0.30
HORAS POR AÑO (Ha)	1,800.00	PRIMA ANUAL SEGURO (s)	0.025
POTENCIA (J)	83.00	FACTOR MANTENIMIENTO (Q)	0.75
POTENCIA DEL EQUIPO (HP)	77.00	FACTOR OPERACIÓN (Fo)	0.75
SALARIO DE OPERACIÓN (So)	77.07		

CARGOS FIJOS			
DEPRECIACIÓN	$D = \frac{Va - Vr}{Ve}$		25.55
INVERSIÓN	$I = \frac{Va + Vr}{2Ha} i$		32.79
SEGURO	$I = \frac{Va + Vr}{2Ha} s$		2.73
MANTENIMIENTO	$T = QXD$		19.16
SUBTOTAL:			80.23
CARGO CONSUMOS			
COMBUSTIBLES	$E = cxHP \times Pc$		31.13
LUBRICANTES	$AL = (C/T \times PL) + (aL \times fHP \times PL)$		3.92
LLANTAS	$H = (Vn/Hv)$		11.60
SUBTOTAL:			46.65
CARGO OPERACIÓN			
OPERADOR	$Co = (So/Ha) \times \text{Días por año}$		12.42
COSTO DIRECTO			139.30

ANÁLISIS DE COSTO HORARIO

FECHA.	ENERO DE 1998
MAQUINA Y/O EQUIPO.	CARGADOR MF-50

PRECIO DE ADQUISICIÓN	(Pa)	684,040 00	COEF COMBUSTIBLE	(c)	0 1514
EQUIPO ADICIONAL	(Ea)		PRECIO COMBUSTIBLE	(Pc)	2.67
VALOR DE LLANTAS	(Vn)	23,200 00	CAPACIDAD CÁRTER	(C)	30 00
VALOR DE ADQ	(Va-Pa+Ea-Vn)	660,840 00	CAMBIO LUBRICANTE	(T)	100.00
VALOR DE RESCATE	(Vr-%Va)	66,084.00	COEF LUBRICANTE	(aL)	0.00358
VIDA ECONÓMICA MAQ.	(Ve)	10,000.00	PRECIO LUBRICANTE	(PL)	13.00
VIDA ECONÓMICA LLANTAS	(Hv)	2,000.00	TASA INTERÉS ANUAL	(i)	0.30
HORAS POR AÑO	(Ha)	2,000.00	PRIMA ANUAL SEGURO	(s)	0.025
POTENCIA	(J)	130.00	FACTOR MANTENIMIENTO	(Q)	0.75
POTENCIA DEL EQUIPO	(HP)	130.00	FACTOR OPERACIÓN	(Fo)	0.75
SALARIO DE OPERACIÓN	(So)	74.71			

CARGOS FIJOS					
DEPRECIACIÓN	D=	$\frac{Va-Vr}{Ve}$			59.48
INVERSIÓN	I=	$\frac{Va+Vr}{2Ha}$	i		54.52
SEGURO	I=	$\frac{Va+Vr}{2Ha}$	s		4 54
MANTENIMIENTO	T=	QXD			44 61
SUBTOTAL:					163.14
CARGO CONSUMOS					
COMBUSTIBLES	E=	cxHPxPc			52 55
LUBRICANTES	AL=	(C/TxPL)+(aLxHPxPL)			3 94
LLANTAS	H=	(Vn/Hv)			11 60
SUBTOTAL:					68.09
CARGO OPERACIÓN					
OPERADOR	Co=	(So/Ha)xDías por año			10.83
COSTO DIRECTO					242.06

OBRA:				
CONST. CIVIL DE LA ESTRUCTURA PARA FILTROS DE CARBÓN ACTIVO				
UBICACIÓN: EDO. DE MÉXICO		UNIDAD: M ² .	CLAVE: 10 7.03.1 1	
ESPECIFICACIÓN:				
FABRICACIÓN Y COLOCACIÓN DE CONCRETO PARA MUROS Y LOSA SUPERIOR CONSUMO DE 350 kg DE CEMENTO POR M².				
CONCEPTO	U.	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
MATERIALES				
ARENA	m3	0.5	20 00	10.00
GRAVA	m3	0.7	20.00	14 00
CEMENTO	kg.	350.00	350.00	122 50
IMP. INTEGRAL	kg	14.0	0.028	0.392
CURACRETO	lt.	2.0	20	40.00
CIMBRA Y ANDAMIOS (Básico 1)				15 36
AGUA	m3	0.4	10	4.00
TOTAL MATERIALES				206.25
MANO DE OBRA	U.	(I/R) RED.	S. REAL	IMPORTE
Por cimbrado y descimbrado				10.22
Por elaboración y colocación				10.24
TOTAL MANO DE OBRA				20.46
EQUIPO:	U.	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
1 Revolvedora de un saco	Hr.	½	23.42	11.71
1 Vibrador de Chicote	Hr	½	20 76	10 38
TOTAL EQUIPO				22.09
HERRAMIENTA:	U.	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
5% de M. O.	%	5	20.46	1 02
TOTAL HERRAMIENTA				1.02

	MATERIALES	\$
	MANO DE OBRA	\$
	EQUIPO	\$
	HERRAMIENTA	\$
	COSTO DIRECTO	\$ 249.82
	COSTO INDIRECTO	\$ 62.46
	PRECIO UNITARIO	\$ 312.28

OBRA:				
CONST. CIVIL DE LA ESTRUCTURA PARA FILTROS DE CARBÓN ACTIVO				
UBICACIÓN EDO. DE MÉXICO	UNIDAD. M³.	CLAVE 10 7.03 1 1		
ESPECIFICACIÓN:				
FABRICACIÓN Y COLOCACIÓN DE CONCRETO EN LOSA DE CIMENTACIÓN.				
CONCEPTO	U.	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
MATERIALES				
ARENA	m3	0.5	20.00	10.00
GRAVA	m3	0.7	20.00	14.00
CEMENTO	kg	3.5	350.00	1.22
IMP. INTEGRAL	kg	14.0	28.00	1.392
CURACRETO	lt.	2.0	20.00	40.00
CIMBRA 10% DE BÁSICO 1	%	10.0	60.00	6.00
AGUA	m3	0.4	10.00	4.00
TOTAL MATERIALES				76.61
MANO DE OBRA	U.	(I/R) RED.	S. REAL	IMPORTE
Cimbrado y descimbrado	%	10	10.22	1.022
Elaboración y colocación				10.240
TOTAL MANO DE OBRA				011.26
EQUIPO:	U.	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
1 Revolvedora de un saco	Hr	½	23.42	11.71
1 Vibrador de Chicote	Hr	½	20.76	10.38
TOTAL EQUIPO				22.09
HERRAMIENTA:	U.	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
5% de M. O	%	5	11.26	0.563
TOTAL HERRAMIENTA				0.563

	MATERIALES	\$ 76.61
	MANO DE OBRA	\$ 11.26
	EQUIPO	\$ 22.09
	HERRAMIENTA	\$ 0.563
	COSTO DIRECTO	\$ 110.52
	COSTO INDIRECTO	\$ 27.63
	PRECIO UNITARIO	\$ 138.15

OBRA:				
CONST. CIVIL DE LA ESTRUCTURA PARA FILTROS DE CARBÓN ACTIVO				
UBICACIÓN: EDO. DE MÉXICO		UNIDAD: M ³ .	CLAVE: 10.803 I I	
ESPECIFICACIÓN:				
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ACERO DE REFUERZO fy=4000 kg/cm².				
CONCEPTO				
	U.	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
MATERIALES				
ACERO DE REFUERZO	kg	1.05	5.00	5.750
ACERO ESTRUCTURAL	kg	0.01	5.55	0.055
TOTAL MATERIALES				5.305
MANO DE OBRA				
	U.	(I/R) RED.	S. REAL	IMPORTE
1/10 SOBRESTANTE 8.04	kg	1/140	133.34	0.952
1 OFICIAL 73.55				
1 PEÓN 51.95				
SUMA 133.34				
TOTAL MANO DE OBRA				0.952
EQUIPO:				
	U.	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
TOTAL EQUIPO				23.42
HERRAMIENTA:				
	U.	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
5% de M. O.	%	5	0.952	0.047
TOTAL HERRAMIENTA				0.05

	MATERIALES	\$ 5.305
	MANO DE OBRA	\$ 0.952
	EQUIPO	\$
	HERRAMIENTA	\$ 0.047
	COSTO DIRECTO	\$ 6.304
	COSTO INDIRECTO	\$ 1.576
	PRECIO UNITARIO	\$ 14.184

OBRA:				
CONST. CIVIL DE LA ESTRUCTURA PARA FILTROS DE CARBÓN ACTIVO				
UBICACIÓN: EDO. DE MÉXICO		UNIDAD: M ³ .	CLAVE: 10.7.03 1 2	
ESPECIFICACIÓN				
PLANTILLA DE CONCRETO f'c= 100 kg./cm ² .				
CONCEPTO	U.	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
MATERIALES				
ARENA	m ³	0.5	20 00	10 00
GRAVA	m ³	0.7	20 00	14 00
CEMENTO	kg.	110	3.50	38.50
AGUA	m ³	0.6	20.00	6.00
TOTAL MATERIALES				68.50
MANO DE OBRA	U.	(I/R) RED.	S. REAL	IMPORTE
1 OFICIAL 73 35	M3	1/1.25	125 3	1.002
1 PEÓN 51.95				
SUMA 125 30				
TOTAL MANO DE OBRA				1.002
EQUIPO: R=1.25 m³	U.	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
REVOLVEDORA (Costo Horario)	m ³	1	23.42	23 42
TOTAL EQUIPO				23.42
HERRAMIENTA:	U.	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
5% de M O.	%	5	1 002	0.05
TOTAL HERRAMIENTA				0.05

	MATERIALES	\$ 68 500
	MANO DE OBRA	\$ 1 002
	EQUIPO	\$ 23 420
	HERRAMIENTA	\$ 0 050
	COSTO DIRECTO	\$ 91 970
	COSTO INDIRECTO	\$ 23 210
	PRECIO UNITARIO	\$ 116 21

OBRA:
CONST. CIVIL DE LA ESTRUCTURA PARA FILTROS DE CARBÓN ACTIVO
 UBICACIÓN: EDO. DE MÉXICO | UNIDAD: M³. | CLAVE: 10.2.03.5.1

ESPECIFICACIÓN:
RELLENO SEMICOMPACTO DE ESTRUCTURAS

CONCEPTO	U.	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE

TOTAL MATERIALES

MANO DE OBRA R=320 m ³	U.	(I/R) RED.	S. REAL	IMPORTE
¼ SOBRESTANTE 20.10	M3	1/32	121.975	0.381
½ OFICIAL 36.67				
2 PEONES 65.20				
SUMA 121.975				

TOTAL MANO DE OBRA 0.381

EQUIPO: R=40 m ³ /hr	U.	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CARGADOR MF - 50	M ³	40	242.06	6.051
	M ³	40	123.63	3.090

Nota: Los precios son costos horario.

TOTAL HERRAMIENTA 9.141

HERRAMIENTA:	U.	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
5% de M. O.	%	5	0.381	0.019

TOTAL HERRAMIENTA 0.19

MATERIALES	\$	
MANO DE OBRA	\$	1.978
EQUIPO	\$	12.623
HERRAMIENTA	\$	0.098
COSTO DIRECTO	\$	14.700
COSTO INDIRECTO	\$	3.700
PRECIO UNITARIO	\$	18.375

OBRA:
CONST. CIVIL DE LA ESTRUCTURA PARA FILTROS DE CARBÓN ACTIVO
 UBICACIÓN. EDO. DE MÉXICO | UNIDAD: M³. | CLAVE: 10.1 03 3.1

ESPECIFICACIÓN:
EXCAVACIÓN PARA ESTRUCTURAS CON MAQUINA INCLUYENDO ACARREO 1er. km.

CONCEPTO	U.	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
MAQUINARIA				
RETRO FORD 555	M3	1/40	139 30	3 482
CARGADOR M F 50	M3	1/40	242.06	6.051
CAMIÓN DE VOLTEO DE 7 M ³ .	M3	1/40	123 63	3 090

Nota: Los precios son costo horario R=40 m3/hr.

TOTAL MATERIALES **12.623**

MANO DE OBRA	U.	(I/R) RED.	S. REAL	IMPORTE
½ SOBRESTANTE	M3	1/32	1.978	1.978
1 OFICIAL				
10 PEONES				

TOTAL MANO DE OBRA **1.978**

EQUIPO:	U.	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE

TOTAL EQUIPO

HERRAMIENTA:	U.	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
5% de M O	%	5	1.978	0.098

TOTAL HERRAMIENTA **0.098**

	MATERIALES	\$
	MANO DE OBRA	\$ 1.978
	EQUIPO	\$ 12 623
	HERRAMIENTA	\$ 0 098
	COSTO DIRECTO	\$ 14 700
	COSTO INDIRECTO	\$ 3 700
	PRECIO UNITARIO	\$ 18.375

OBRA: CONSTRUCCIÓN OBRA CIVIL DE LA ESTRUCTURA PARA FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO DEL MODULO EXPERIMENTAL DE TRATAMIENTO TERCARIO DE AGUAS RESIDUALES, EN EL ESTADO DE MEXICO.

CLASIF.	CONCEPTO ENUNCIADO	UNIDAD	CANT.	PRECIO UNITARIO		IMPORTE
				(CON LETRA)	UNITARIO	
5 1.3 1 1 2.1	Caminos de penetración formados por tezomle obtenido en banco, con acarreo libre de 1 0 km.	m ³	210 00	Treinta y seis pesos 80/100 m.n.	36.80	7,728.00
3.4 8.4 1	Suministro, habilitado y colocación de escalera marmá forjada con varilla redonda lisa de 19 0mm (3/4")	ml.	12.00	Doscientos Veinte pesos 60/100 m.n.	220 00	2,640 00
3 4.2 3a	Cimbra de madera perdida en construcción de estructuras.	m ²	12.00	Ciento Veinte pesos 00/100 m.n.	120 00	1,440.00
3.4.3.2	Suministro y colocación de placa de neopreno dureza shore-60	m ²	1.50	Ochenta y Cinco pesos 20/100 m.n.	85.20	127 80
2.3.6.6.b 1	Instalación y operación del sistema de bombeo para abastecimiento del nivel fríasico	dia/Sist	30 00	Ochocientos Cincuenta pesos 00/100 m.n.	850.00	25,500.00
1 3.1.1.2a	Bomba de actiique con bomba autocebante propiedad de contratista, de 2 1/2", de diámetro	hr	20 00	Treinta y Ocho pesos 23/100 m.n.	38 23	767.60
					SUMA	<u>385,203.46</u>

(IMPORTA EL PRESENTE PRESUPUESTO LA CANTIDAD DE TRESCIENTOS OCHENTA Y CINCO MIL DOSCIENTOS TRES PESOS 46/100 M. N.)

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES.

Al llegar al término del presente trabajo de investigación del que nos hemos ocupado y convencido del problema que actualmente representa la escasez de agua llegamos a lo siguiente:

Podemos darnos cuenta de como se esta agotando el agua esto es por el crecimiento de la población, el aumento de consumo por persona, y por la sobre explotación, el aumento de *consumo por persona*, y por la sobreexplotación de los pozos y ya que esta agotando rápidamente los mantos acuíferos, algunas de las soluciones para cubrir estas necesidades pueden ser: extraer agua de otros mantos acuíferos, pozos ríos aun mas alejados del distrito federal, o desalar agua de mar, que es una solución poco practica por el alto costo que representa y el *elevado gasto de inversión* que se tendría, para poder traer al D.F. toda esta agua que sería entubada ya que otro medio sería mucho mas caro a la larga

Por eso es importante el reuso del agua, su *objetivo principal* es aprovechar el agua residual, fomentar un crecimiento en plantas de tratamiento en los 3 niveles que se dividen y tratar de evitar la sobreexplotación que se está dando en los pozos del D.F., esto nos daría como resultado un asentamiento menor al que se está dando por causa de este grave problema.

Otro de los grandes problemas que se vive como esta situación es la mala calidad del agua y esto también genera mas gastos pues la aplicación de cloro y el mantenimiento del mismo.

Con el presente trabajo me he dado cuenta que también una de las posibles soluciones, puede ser que *la industria* se obligue a tener equipos de reciclaje de agua y que la puedan reutilizar esto nos ayudaría a un ahorro considerable en la red publica de suministro de agua potable, también se puede tomar como posible solución el almacenamiento de agua pluvial, pues esta agua tendría un tratamiento menor para poderla utilizar o para zonas de riego en áreas verdes, jardines, parques e *incluso* como aguas para uso de diversión

He encontrado en mi trabajo y durante mi investigación que el problema que vive el valle de México y su área metropolitana es muy grave, pues por un lado la falta de agua y por el otro los graves asentamientos

la solución se tiene y son varias, todas de carácter técnico para beneficio social, el único y aparente problema es el económico mediante el cual todos los proyectos y soluciones se quedan incompletos y sin solución.

En el futuro desarrollo de los recursos hidráulicos en México las fuentes de *abastecimiento* seguirán siendo afectadas por la contaminación y sobreexplotación debidas al desarrollo industrial y al crecimiento demográfico y a la falta de orientación y concientización de la comunidad en el sentido de que el agua es un recurso renovable hasta un limite que la naturaleza lo sostenga

GLOSARIO

GLOSARIO.

Afluente:	Río que desemboca en otro principal
A.M.C.M.:	Área Metropolitana de la Ciudad de México.
Caótica:	Muy desordenado y confuso
C.N.A.:	Comisión Nacional del Agua
Coadyuvar:	Contribuir, asistir o ayudar a la consecución de alguna cosa
CONAPO:	Consejo Nacional de Población
Consuntivo:	Que tiene virtud de consumir, relativo a la consunción o de su naturaleza.
Depuración:	Quitar las impurezas, depurar el agua
Déficit:	Cantidad que falta para que los ingresos se equilibren con los gastos.
E:	Relativo al viento o producido por él.
Estrato:	Capa formada por rocas sedimentarias, estratos calcáreos, cristalinos.
Estuario:	Entrada del mar en la desembocadura de un río.
Floculación:	Precipitación de sustancias coloidales en solución, que toman un aspecto coposo
FONATUR:	Fondo Nacional de Turismo.
G.P.M.	Galones por Minuto
Incentivo:	Lo que incenta o mueve una cosa
Infiltración:	Paso de un líquido a través de los poros de un sólido
Inóculo:	Introducción microbios, virus o parásitos en un organismo o medio de cultivo.
Intrínseca:	Intimo, esencial, mérito, valor intrínseco
Magnética:	Perteneciente o relativo al magma
Percolación:	Movimiento lento de las aguas a través de un material granuloso ya saturado
Periferia:	Circunferencia, contorno de un figura curvilínea
Precortesiana:	Relativo a épocas anteriores a la conquista de México por Hernán Cortés
Promontorio:	Altura considerable de tierra, especialmente la que avanza dentro del mar.
SEMARNAP:	Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca
SGAA:	Subdirección General de Administración del Agua
S.R.H.:	Secretaría de Recursos Hidráulicos
ZMCM:	Zona Metropolitana de la Ciudad de México

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- El subsuelo y la ingeniería de cimentaciones en el área urbana del valle de México. Sociedad Mexicana de Suelos, México, 1978
- Programa de uso eficiente del agua. México, D. F. Agosto de 1990
- Comisión Nacional del Agua. Sistema Cutzamala, México. D. F. Diciembre de 1997
- Calidad y cantidad del agua en México. Mauricio Athé Lamberti, México. D. F. 1987
- Reuso del agua en la agricultura, la industria, los municipios y en la recarga de acuíferos. Diciembre de 1979
- Programa básico prioritario. El tratamiento de aguas residuales para fines de reuso, Abril de 1983
- Poder ejecutivo federal. Programa hidráulico 1995 - 2000
- Matrimonio por conveniencia, T. L. C. Sidney Weintraub
- Proyecto Lago de Texcoco. Rescate hidrológico, Ing. Gerardo Cruickshank García
- Manual de Aguas. American Society For testing and materials. Philadelphia, Pennsylvania. México 1976
- Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento vertido y reutilización, Metcalf & Eddy, Tomo I y II
- Obras recientes en el lago de Texcoco. Sociedad Mexicana de mecánica de suelos, México 1984
- La Protección del medio ambiente. Eliska Lowbeerova Chanlett y Daniel Alexander
- Órgano oficial del colegio de ingenieros civiles de México. Aguas Subterráneas, Marzo de 1998