



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

**“ESTADO ACTUAL DEL ACUAFÉRICO Y DEL
MACROCIRCUITO DE LA CIUDAD DE MÉXICO
Y ZONA CONURBADA”**

T E S I S



Que para obtener el Título de INGENIERO CIVIL,
presenta:

Marco Arturo Corona Ramírez

Director de Tesis
M. I. Arturo Nava Mastache



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
FING/DCTG/SEAC/UTIT/088/07

Señor
MARCO ARTURO CORONA RAMÍREZ
Presente

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

"ESTADO ACTUAL DEL ACUAFÉRICO Y DEL MACROCIRCUITO DE LA CIUDAD DE MÉXICO Y ZONA CONURBADA"

- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
- II. FUENTES DE ABASTECIMIENTO
- III. ACUAFÉRICO
- IV. MACROCIRCUITO
- V. UNIÓN DEL ACUAFÉRICO Y MACROCIRCUITO
- V. CONCLUSIONES

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 24 de Agosto del 2007.
EL DIRECTOR

MTRO. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA
GGZ/RSU/gar.

A Carmina Corona Zaragoza, por ser la inspiración
en mi vida, por hacer un nuevo hombre de mí.

Dedico esta tesis...

A mi Poemita, para que nunca te falte *abua*, te amo.

A Celia Paula Ramírez Cruz, Chelinita mi mami, por ayudarme a ser lo
que soy y por el apoyo que me brindó cuando más lo necesité.

A Gabriela Corona Ramírez, por aceptarme, oírme, ayudarme en
tantas y tantas ocasiones, por ser un gran pedazo de mí que me enriqueció
la mente y el alma, sin ti soy tan solo un cero a la izquierda.

A Samuel Corona Ramírez, porque con su ayuda soy un hombre
responsable, por ser mi hermano mayor en toda la extensión de la palabra.

A Esperanza Cruz Gracia, mi abuelita (Catita para los amigos), por
toda la sabiduría y experiencia que me transmitió.

A Elizabeth Zaragoza Fuentes, por ser mi mejor amiga desde que la
conocí, por tantas pláticas en los cafés y por darme lo mejor que he hecho en
mi vida.

A Victor Lynn (mesié), por ser mi compañero en la solitaria Facultad
de Ingeniería, por todos los trabajos y tareas que hicimos juntos.

A los Fusileros Paracaidistas, por toda esa disciplina que me
impartieron y en especial al Sargento Guerra por su apoyo cuando estuve en
esa Fuerza Especial.

Quiero agradecer ...

Al M. en Ing. Arturo Nava Mastache por brindarme su erudición, por el conocimiento que me impartió en la Universidad y por ofrecerme su gran apoyo en el logro de esta tesis.

Al Ing. Héctor Ferreira Díaz, por su asesoramiento, su profesionalismo y por enseñarme a trabajar haciéndome ver mis errores.

Al Ing. Mauricio J. Hernández García Subdirector de Proyectos del Sistema de Aguas de la Ciudad de México, por facilitarme toda la información disponible referente al Acuaférico que él tiene a su cargo.

Al Ing. Manuel Mira Gutiérrez encargado de la Subdirección de Proyectos de la Comisión del Agua (*sic*) del Estado de México por auxiliarme en la investigación del Macrocircuito del Estado de México y por asignarme a la Ing. Silvia Caballero Jiménez quien me proporcionó considerable información que me fue de gran utilidad.

A la Doctora Minerva López por hacer que mi cerebro se despertara y que fuera mucho mejor que antes.

Al Doc. Sambrano por que me reenseñó como hacer una suma y como volver a caminar.

Al G.º A.º D.º U.º

A todos mis HH.º de la Resp.º Log.º Simb.º Colegio Nacional de Liberales No 3 por que ustedes fueron mi inspiración para realizar este tr.º de alb.º, siempre pensando en mis QQ.º HH.º

A mi Q.º H.º M.º M.º Marcos López Chimil por todo el conocimiento que me proporcionó. Y el excelente libro que me recomendó "Como se hace una tesis" escrito por el *egregio* Humberto Eco.

A mi Q.º H.º M.º M.º Héctor Santiago Sahaner por quitarme esa depresión que me acosaba.

A todas aquellas personas que de alguna una forma han contribuido para que haya logrado este triunfo en mi vida.

A.....Adiós.

“Aquí se vende agua en bloque, se sanean las aguas negras y se hacen proyectos tanto de agua potable como de alcantarillado, y nuestra obra más importante es sin lugar a dudas el macrocircuito de distribución de agua potable, el cual llevará agua a muchos municipios del estado”

Evelyn Eunice Luja Nava
Ejecutiva de la Comisión del Agua del Estado de México (CAEM)

“El agua no comete errores como los seres humanos, ella sabe su camino”

M. en I. Arturo Nava Mastache

“Cuando tengas que hacer con el agua, consulta primero la experiencia y luego la razón”

Leonardo Da Vinci

“...y conoceréis la verdad y la verdad os hará libres”

Evangelio según San Juan, capítulo 8, versículo 32; Biblia (irónicamente)

“Yo solo creo en lo que mi espada pueda cortar”

Conan El Bárbaro

“¿Hay en el mundo algún conocimiento tan cierto que ningún hombre razonable puede dudar de él?”

Bertran Russell

“Lo que no me mate me hará mas fuerte”

Friedrich Nietzsche

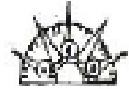


ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	i
Figuras de Introducción	i-1
I. ANTECEDENTES	1
I.1 Necesidades Hidráulicas	1
I.1.1 Localización de la Cuenca del Valle de México	2
I.1.2 El Distrito Federal	3
I.1.3 Municipios Conurbados del Estado de México	4
I.1.4 Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM)	10
I.2 Proyecto Hidráulico del Acuaférico	13
I.2.1 Diseño	14
I.2.2 Construcción	16
I.3 Proyecto Hidráulico del Macrocircuito	22
I.3.1 Diseño	22
I.3.2 Construcción	26
I.4 Fugas	30
I.5 Figuras del Capitulo	31
II. FUENTES DE ABASTECIMIENTO	65
II.1 Cutzamala	66
II.1.1 Los Berros	74
II.1.2 Chilesdo	78
II.1.3 Temascaltepec	79
II.2 Lerma	82
II.3 Amacuzac	91
II.4 Pozos Urbanos	93
II.5 Figuras del Capitulo	94
III. ACUAFÉRICO	114
III.1 Trazo	114
III.2 Estado Actual	114
III.3 Figuras del Capitulo	118



IV. MACROCIRCUITO	125
IV.1 Trazo	125
IV.2 Estado Actual	125
IV.3 Figuras del Capitulo	125
V. UNIÓN DEL ACUAFÉRICO Y MACROCIRCUITO	129
V.1 Resultado de la unión del Acuaférico y Macrocircuito	129
V.2 Figuras del Capitulo	129
CONCLUSIONES	c-1
BIBLIOGRAFÍA	b-1
GLOSARIO	g-1
APÉNDICE	a-1



INTRODUCCION

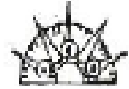
La Real Academia de la Lengua Española define tesis como “Disertación escrita que presenta a la universidad el aspirante al título de doctor en una facultad” o “Conclusión, proposición que se mantiene con razonamientos.” La intención en la elaboración de esta tesis no es solamente la obtención de un título (que buena falta me hace), es que sirva para algo, que no sea solamente un libro ocupando espacio en los anaqueles de una biblioteca, que quién la lea la entienda ya sea un licenciado o un doctor (por tal razón se elaboró un apéndice lo mas completo posible),

Empezaremos aclarando que el nombre con el que se le conoce al **Acuaférico** es *Acueducto Perimetral Ramal Sur*, no incluyendo al **Microcircuito**, hago esta explicación puesto que encontré muchas referencias que tenían ese nombre.

Los recursos hídricos accesibles para su aprovechamiento por el hombre tienen su origen en la precipitación pluvial que al ocurrir sobre “tierra firme” se divide en dos fracciones. Cerca del 70% del volumen de agua precipitada retorna a la atmósfera por evaporación. La fracción complementaria escurre superficialmente por las redes de drenaje natural - arroyos y ríos- hasta desembocar al mar o a cuerpos interiores de agua, o se infiltra y circula a través de acuíferos, que a su vez descargan a cuerpos y cursos superficiales, a través de manantiales o subterráneamente al mar. Referirse a la **figura 0.1** al final de la introducción.

Abastecer de agua a la Ciudad de México y su área conurbada ha sido un gran problema por el desmedido crecimiento, una carrera persecutoria a la que todavía no se le ve fin y que ha provocado serios daños a la urbe y a las zonas de donde se extrae el agua para su abastecimiento. Atiéndase a la **fig. 0.2**.

Diariamente, millones de personas en la ciudad abren las llaves de su baño para satisfacer sus necesidades de limpieza, las de las cocinas para preparar los alimentos; con el simple apretar de un botón miles de litros cumplen su tarea en lavadoras, kilómetros de mangueras la expulsan para quitar el polvo de millones de autos, en los jardines cubre las áreas verdes, los tambos y cubetas se llenan en las viviendas más pobres de la ciudad para poder subsistir y sirven para preparar los alimentos y lavar la ropa. Así, desde lavarse las manos hasta la preparación del café que acompaña la lectura de los periódicos y las noticias en la mañana, aparece como por arte de magia el **AGUA**.



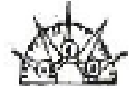
¿De donde viene?, ¿como llega a nuestros hogares, oficinas, fábricas y jardines?, ¿como se abastecen de agua millones de habitantes de una ciudad como la nuestra, ubicada a 2,240 metros sobre el nivel del mar, y que cuando arribaron los conquistadores españoles, llegó a tener una superficie de mil 100 kilómetros cuadrados cubiertos de agua? Muy rara vez nos hacemos estas preguntas.

La historia de las grandes culturas se ha iniciado y desarrollado cerca de ríos, lagos y lagunas, siempre próximo de donde había suficiente agua para cubrir las necesidades del hombre. Debido a que el agua es uno de los elementos indispensables en la supervivencia y desarrollo de la civilización.

Ab urbe condita de Tenochtitlán, cuyos primeros pobladores, provenientes de *Aztlán*, decidieron asentarse en un valle ubicado a más de 2,240.00 *msnm*, donde se encontraba un gran lago de aguas *salobres*. De esta decisión, desde entonces, se derivaron grandes y diversos problemas para proveerse de agua para consumo humano y al mismo tiempo para desalojar las aguas negras y las aguas pluviales. Pasar a la **figura 0.3** para tener una imagen clara de la Ciudad Tenochtitlán.

La grandeza de las civilizaciones prehispánicas estaba fundamentada en el profundo conocimiento del agua. De la indisoluble relación con tan vital elemento provenía su fortaleza económica, cultural y militar, pues de ella obtenían alimento y protección. La Gran Tenochtitlán fue una ciudad sobre el agua con avanzadas tecnologías para controlar sus niveles y reciclar sus desechos. Así fue de notable el respeto por la naturaleza pero con la violenta llegada del viejo mundo, la situación cambió. El abastecimiento de agua lo hicieron mediante la construcción de acueductos que conducían las aguas provenientes de los manantiales de Chapultepec en 1465, y de Coyoacán en 1495. A medida que se requería de más agua, fueron incorporando los manantiales de Santa Fe, Xochimilco y Nativitas. Véase la **figura 0.4** al final del capítulo. También podemos observar como es que las personas tenían que caminar para abastecerse de agua y que todavía lo hacen en algunas comunidades, se advierte en la **figura 0.5**.

El conocimiento profundo, el manejo adecuado y un dominio integral sobre el agua que tenían nuestros antepasados, nunca lo pudieron entender los hombres de a caballo. En el siglo XVI se construyó una red subterránea para una distribución más efectiva del agua, que con el tiempo fue creciendo y transformándose en el sistema hidráulico de la ciudad, que cada vez se tornará más grande y más complejo en lo que ahora es, como podemos apreciar en la **figura 0.6** del plan maestro de Agua Potable, un gran *cadejo* de líneas que se cruzan y se intersecan.



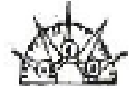
Conforme la ciudad se extendió y su población aumentó, se requirió de mayores volúmenes de agua para su consumo, y llegó el momento en que los manantiales existentes ya no fueron suficientes para abastecer a la población. Ante esta situación se inició la búsqueda de otras fuentes de abastecimiento.

Las majestuosas obras para abastecer a la ciudad han jugado un papel determinante en esa radical transformación ambiental.

¿Como desecar los lagos para imponer los patrones urbanos y la cultura del viejo continente? La respuesta la brindó la ciencia europea. Reyes y Virreyes mandaron hacer durante la segunda mitad del siglo XVI múltiples proyectos. Ingenieros (que en esas fechas no se llamaban así), geógrafos y demás científicos llegaron a la Nueva España para cumplirlo. Después de las terribles inundaciones de 1604 y 1607, se aprueba el proyecto de los cinco grandes lagos, Chalco, Xochimilco, San Cristóbal-Xaltocan, Zumpango y Texcoco, éste ultimo era el más bajo. Su proyecto original era construir desde éste un gran desagüe artificial para conectarlo al río Tula, y por sus afluentes Moctezuma y Pánuco, conducir el agua hasta el Golfo de México. Las limitaciones de recursos obligaron sólo a construir dicho conducto desde el lago más alto, Zumpango, de tal manera que desviando su río principal, el Cuautitlán, se redujera considerablemente el agua en la cuenca y sobre todo aquella que llegaba hasta el lago de Texcoco, en donde se encontraba la ciudad.

A principios del siglo XX se inició la extracción de agua subterránea del acuífero del Valle de México. Pero esto no fue suficiente, la demanda siempre superaba la oferta: por más pozos que se perforaban, siempre resultaban insuficientes, por lo que fue necesario recurrir a fuentes externas a la ciudad. En el año 1951 se comenzó a explotar la cuenca del Valle de Lerma, y con la adición de los nuevos caudales mejoró el suministro del servicio; había agua para más habitantes, pero se presentaron otros problemas colaterales: La extracción de agua de los acuíferos de los Valles de México y de Lerma dieron muestra de un importante abatimiento en sus niveles piezométricos, e iniciaron hundimientos en la zona lacustre de la Ciudad de México por la consolidación del suelo, esto originó los hundimientos diferenciales que van de los cero a los treinta centímetros anuales, afectando considerablemente a la infraestructura urbana. Favor de observar la **figura 0.7**.

Así, no era conveniente seguir extrayendo agua del acuífero sin una estrategia adecuada, sino que debían buscarse fuentes de abastecimiento alternas, mejorar la distribución, evitar los desperdicios y derroches de agua y crear una nueva cultura del agua. Debido a esta situación, las autoridades



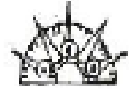
realizaron los estudios necesarios para importar agua para consumo humano de una segunda fuente, y ésta es externa. De los análisis correspondientes se seleccionó la cuenca del río Cutzamala, que es la fuente de abastecimiento más reciente.

Sin embargo esto no fue suficiente: la población seguía creciendo anárquicamente con tasas muy altas, y por cuestiones de centralismo económico, querían vivir en el Distrito Federal, no había nada que pudiera ordenar el crecimiento urbano y demográfico, ni se contaba con la infraestructura suficiente para que los habitantes de la Ciudad de México contaran con un adecuado servicio de agua potable. La ciudad creció desmesuradamente durante la primera mitad del presente siglo. En 1920 contaba con 46 kilómetros cuadrados de extensión y 950 mil habitantes. Tan vertiginoso crecimiento saturó los desagües de la ciudad, obligando a perforar por tercera vez la cuenca; un nuevo túnel, similar al de Tequixquiac, se construyó junto a éste entre 1937 y 1942; con ello quedaban aseguradas las posteriores expansiones de la ciudad.

A partir de 1940, se advirtió que a pesar del incremento de pozos, el problema no podría ser resuelto con este sistema, además de que agravaría el de los hundimientos, se planeó entonces la importación de agua de cuencas externas, y para 1951 entró en operación el Sistema Lerma y posteriormente el del Cutzamala, a principios de los ochentas.

Pero la naturaleza volvió nuevamente a llamarnos la atención sobre lo endeble de las obras construidas: en 1951 el Centro Histórico y algunas colonias aledañas se inundaron durante tres meses. El nivel del agua alcanzó dos metros, convirtiendo nuevamente la capital en lago. Los hundimientos y la saturación de los túneles de Tequixquiac para desalojar las aguas residuales, obligaron a construir el cuarto desagüe, llamado el Drenaje Profundo. La obra es en su tipo, la más impactante de América Latina. Se tratan de 1,353 kilómetros de túneles subterráneos de 5 metros de diámetro que atraviesan el subsuelo citadino. Conducen el agua al emisor central, un túnel de seis y medio metros de diámetro construido a 240 metros de profundidad. Con esta obra concluyen los propósitos de desaguar la cuenca de México mediante las grandes obras de ingeniería. En 1953 eran ya 240 kilómetros cuadrados y 3.5 millones de habitantes. Hoy las cifras nos parecen insignificantes, pero en esos tiempos causaron gran conmoción.

Las nuevas obras por realizar deberían tener una combinación adecuada entre costo/beneficio. Ya que aún en la década de 1970 se afrontaba la problemática del suministro de agua para consumo humano, reforzando y ampliando la infraestructura hidráulica mediante grandes



inversiones. Pero, actualmente, el punto de vista es otro, originado por la política económica del país y la necesidad de preservar los recursos naturales y el ambiente ecológico. Se busca crear una nueva cultura del agua, basada en el uso eficiente de los recursos Hidráulicos y una mejor planeación de la infraestructura necesaria para la captación, conducción y distribución entre la población.

Como resultado, casi toda el agua de la cuenca, alimentada por 14 grandes ríos y sus 35 afluentes, fue suprimida. La navegación en lagos y canales paulatinamente se extinguió. En su lugar se implantaron en diversas épocas, los caminos para las carretas, tranvías y finalmente, el área la ocuparon unos ejes viales, un viaducto, un periférico y miles de calles por donde se desplazan automóviles, autobuses y camiones de carga, en menos de 500 años la ciudad de México y su antigua cuenca lacustre, registraron el cambio ambiental más grande de que se tenga memoria en la historia de la urbanización mundial.

En las páginas que siguen, se aborda en lo fundamental los problemas del abastecimiento de agua potable en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Esta disertación se elabora debido a la urgencia de encontrar alternativas vs. la creciente escasez de agua.

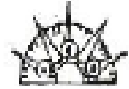
El primer capítulo se enfoca a mostrar la geografía de la Ciudad de México y el agua potable existente, así como el diseño y construcción del Acuaférico y Macrocircuito. En este apartado que es el más extenso, se mencionan las fugas de agua en la Ciudad, que son muchas.

El segundo capítulo se refiere a todos los cuerpos de agua que abastecen a la ZMCM, abundando en el Cutzamala debido a que es por esta fuente que el Acuaférico y el Macrocircuito reciben agua.

El tercero y el cuarto tratan de cómo está constituido el trazo del Acuaférico y Macrocircuito, su estado actual, cómo está formado, dónde inicia y hasta dónde llega. Del Macrocircuito no logramos obtener muchos datos debido a que está en construcción aunque si pudimos conseguir información de su estado actual.

Se pudo rescatar un perfil y planta actuales en la Comisión de Agua del Estado de México (CAEM), que se pone a disposición en el quinto apartado.

En el capítulo quinto pretendo, desde lo estrictamente académico, rastrear cual sería el resultado de la unión del Acuaférico y Macrocircuito y



proporcione una planta y perfil de los dos en conjunto, el trazo de ambos -los problemas constructivos sería tema de otra tesis.

Sin embargo, parece que sería superficial pretender reducirlo solo a mostrar lo que existe, tanto en el Acuaférico como en el Macrocircuito, por lo que se trabajó en el perfil hidráulico y el resultado que se tendría si esto sucede. Se concluyó con un perfil que se pudo elaborar con la información disponible.

Las páginas que contienen figuras no están numeradas con el fin de apreciar mejor la ilustración.

Una imagen vale mas que mil palabras, por eso se presentan numerosas gráficas para que quede bien enterado de lo que esta sucediendo en el **Acuaférico y Macrocircuito**.

La conclusiones se sitúan al término del capítulo V enfatizando la necesidad de agua en la Ciudad de México.

En la bibliografía se escriben los textos donde se obtuvo de manera general la información, por eso que no hago referencia cada vez que se usaron, en algunas ocasiones fue dada por los ingenieros que laboran en el las dos dependencias de agua, tanto como la del Estado como la del Distrito Federal.

Después de la Bibliografía se colocó un Glosario donde algunos términos fueron conseguidos de las clases del área de Hidráulica y al final de este se hace referencia de algunos términos usados en Latín

Al final de la tesis se hizo un apéndice de todos los oficios enviados y recibidos por parte de la CAEM y SACM.

Uno de los pasos fundamentales para la correcta ejecución de la tesis representó la recabación de la mayor cantidad de información disponible y necesaria, para lo cual fue indispensable contar con los apoyos y supervisión de los ingenieros de la (CAEM), Comisión del Agua del Estado de México, y mediante la colaboración de la (SACM), Sistema de Aguas de la Ciudad de México, se determinó el procedimiento a seguir para tener acceso a su biblioteca y así poder consultar planos, informes y manuales que fueron de gran utilidad para la correcta preparación de este trabajo.



Fig 0.1 Ciclo hidrológico del agua





Fig 0.2 La Urbe Metropolitana –continúa en expansión y demanda mayores volúmenes de agua en este momento son $34.8 \text{ m}^3/\text{s}$.-



Fig. 0.3 La Gran Ciudad Tenochtitlan

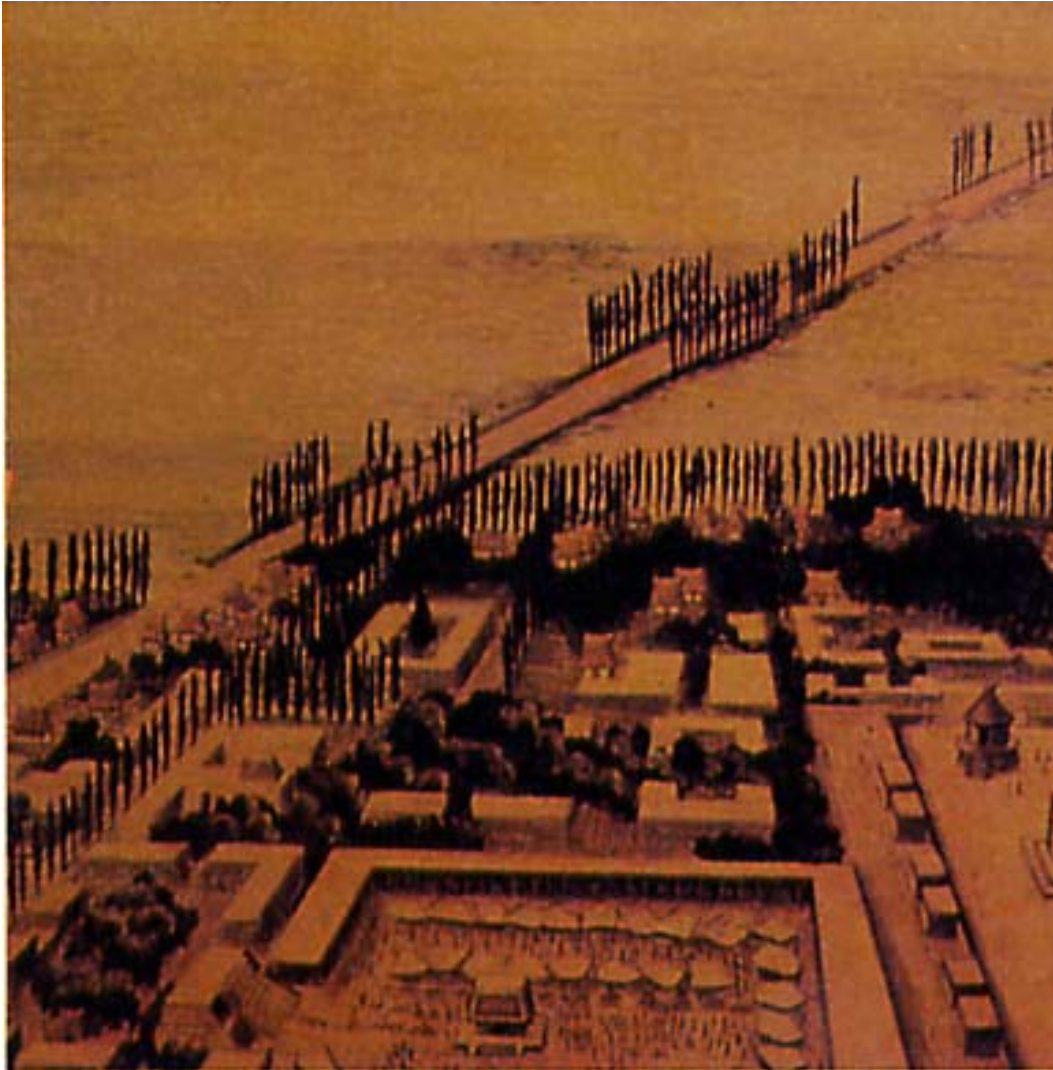




Fig. 0.4 Acueducto de Chapultepec



Acueducto Chapultepec



Fig. 0.5 Pilas Comunitarias



Pilas comunitarias de agua potable



Fig. 0.7 Hundimiento de la Ciudad de México



En la ciudad de México se presentan hundimientos de 0.1



I ANTECEDENTES

I.1 Necesidades Hidráulicas

La historia de México indica que la ciudad inició su construcción dentro de un islote en la parte central de un lago. Este lago cubría una extensa área que se continuaba hacia el noreste hasta Texcoco y al sur hasta Xochimilco. Los Aztecas ganaron terreno al lago construyendo chinampas, que son acumulaciones de material arcilloso arriba del nivel del agua, sitios donde realizaban sus cultivos. Por otra parte, se construyeron bordos para evitar la inundación de áreas que se incorporaban al cultivo, a fin de ganarle tierra firme al lago. Ya en el presente siglo, se iniciaron obras para el drenaje de la ciudad, lo cual aceleró el secado de los lagos.

Durante las épocas Prehispánicas, de la Colonia y parte de la vida Independiente, el agua necesaria para el desarrollo, primero de la gran Tenochtitlán y, después de la ciudad de México, fue aportada de su propia cuenca, principalmente las fuentes superficiales disponibles, como eran los manantiales de Chapultepec, Xochimilco y Nativitas, los cuales permitieron satisfacer la demanda de la todavía reducida población. Al paso de los siglos, estas fuentes fueron insuficientes y, finalmente se agotaron, lo que obligó a la perforación de pozos para extraer el agua del acuífero superior del Valle de México. Como este procedimiento llegó a ser más tarde, la única fuente de agua, se intensificó la perforación de pozos, y se aumentó también su profundidad, extrayéndola de acuíferos cada vez más profundos.

Esta actividad temporalmente "resolvió" el problema, ha creado otro de gran envergadura, que es el hundimiento regional y local del área que ocupó el antiguo lago.

Para fines de los años ochenta se hizo impostergable disponer de un sistema más racional de distribución del agua procedente del Cutzamala. Se concreto con el **Macrocircuito** y el **Acuaférico**. Se trata del más reciente sistema de acueductos en la historia hidráulica de la ciudad. El objetivo de ambas obras es lograr una distribución más equitativa del líquido construyendo un circuito perimetral de 100 kilómetros alrededor de la zona metropolitana. Para poder dotar de Agua Potable a la zona que se tiene contemplada en la figura que aparece al final del capítulo, **Fig. I.1.**



I.1.1 Localización de la Cuenca del Valle de México

La cuenca del Valle de México se localiza en el extremo sur del altiplano mexicano y en la parte central del Eje Neovolcánico, a una altura media de 2,240 *msnm*; la limitan, al Norte, las sierras de Tepotzotlán, Tezontlapa y Pachuca; al Este, los llanos de Apan y la sierra Nevada; al Sur, las sierras de Chichinautzin y del Ajusco, y al Oeste las de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo. Con 9,674 km² de superficie, plana en un 30.00% su territorio se distribuye de la forma siguiente, en la **tabla I.1.1**:

Tab. I.1.1 CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO	
Region	Superficie en %
Distrito Federal	9.04
Estado de México	39.50
Hidalgo	48.46
Tlaxcala	3.00
TOTAL	100.00

Se sitúa en la altiplanicie mexicana, en el borde sur de la Mesa Central, entre los paralelos 19°03'53" y 20°11'09" de latitud norte y entre los meridianos 98°11'53" y 99°30'24" de longitud oeste, dentro de la provincia del eje Neovolcánico. Constituye una cuenca cerrada por no contar con salidas naturales para los escurrimientos superficiales. Remitirse a la **fig. I.1.1**



I.1.2 El Distrito Federal

Se localiza casi en su totalidad, en la porción suroeste de la Cuenca del Valle de México, entre los paralelos 19°03'53" y 19°35'33", de latitud norte, y los meridianos 98°57'09" y 99°22'15", de longitud oeste del meridiano de Greenwich. Tiene por límites, en la mayor parte de su perímetro, al Estado de México y sólo por el sur al de Morelos.

Uno de los principales problemas que presenta la distribución eficiente de agua en el área de la Ciudad de México, es que las fuentes de agua externas, actuales y futuras, alimentan a la ciudad de México por las zonas norte y poniente, y la misma ciudad ha tenido un intenso crecimiento urbano hacia las zonas oriente y sur, por lo que en éstas la distribución es deficiente.

La Ciudad de México ocupa totalmente las delegaciones Azcapotzalco, Benito Juárez, Coyoacán, Cuauhtémoc, Gustavo A. Madero, Iztacalco, Miguel Hidalgo y Venustiano Carranza, Cuajimalpa de Morelos, Magdalena Contreras, Álvaro Obregón, Tlalpan, Xochimilco, Milpa Alta, Tláhuac e Iztapalapa, en algunas de las cuales aún existen pueblos aledaños a la periferia y campos de cultivo, además de disponer de la zona destinada como reserva ecológica de la entidad. En la **figura I.1.2** se pueden ver las delegaciones, favor de pasar a ella.

La extensión territorial del Distrito Federal es de 1,504 km², cifra que representa el 0.1% del total del país. Ocupa el 32° lugar en extensión territorial, respecto a las demás entidades federativas. Para su administración está dividido en 16 Delegaciones Políticas, con una población censada en 2006 de 8'742,007 habitantes. Para ver el crecimiento de población en los últimos 10 años puede pasar a **la fig. I.1.2.1**

Ahora en un futuro próximo el INEGI hizo una proyección que queda como se muestra en la **figura I.1.2.2**

La población de Distrito Federal esta distribuido como lo advierte la **figura I.1.2.3.**



I.1.3 Municipios Conurbados del Estado de México

Los recursos hidráulicos en el Estado de México son escasos en todas las cuencas: Alto Río Panuco, Río Lerma, Río Balsas y Valle de México. Actualmente el agua subterránea del Río Lerma está al límite de su disponibilidad en el Valle de México el acuífero está sobreexplotado; y en lo que respecta a la del Río Balsas, hay disponibilidad de escurrimientos superficiales, pero faltan sitios para su almacenamiento. En esta última cuenca se localiza el Sistema Cutzamala que complementa el abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México y complementará con el proyecto Línea de Conducción No. 2 y 3 del **Macrocircuito** del Ramal Norte del Sistema Cutzamala" el abastecimiento de 18 Municipios conurbados a la Ciudad de México.

El Estado de México se localiza en el altiplano central de la República Mexicana; su relieve se conforma por dos grandes Valles, el de México y el de Toluca, dedicados principalmente a la industria y a los servicios. En el primero, se asienta el mayor conglomerado humano del país, el Distrito Federal y los municipios metropolitanos. El segundo está experimentando un marcado crecimiento económico y poblacional.

El territorio es atravesado por el eje volcánico que corre del Golfo de México al Océano Pacífico, marca la frontera de dos grandes regiones continentales de flora y fauna. La diversidad de valles y montañas propicia una gran variedad de suelos, rocas y yacimientos minerales, climas, vegetación y fauna; una amplia gama de regiones y paisajes caracterizan a la entidad como un mosaico representativo de la nación.

En el estado se originan tres cuencas hidrológicas: la del Valle de México-Pánuco, en la zona nororiente; la cuenca del Lerma, que se localiza en la región central-oriental, y la del Balsas, ubicada al sur.

Tiene una altura promedio de lluvia anual del orden de los 999 mm, lo que implica un volumen medio anual de 22,472 millones de m³, del que se evapotranspira un promedio, de 17,698 millones, por lo que finalmente, la disposición es de 4,764 millones de m³; de éstos 3,707 forman los escurrimientos superficiales y 1,067 conforman la infiltración a los acuíferos de las tres cuencas hidrológicas referidas.

El clima predominante en la entidad es el llamado Templado o Mesotérmico. La temperatura media anual en el sur poniente es mayor a los 20° C; en la zona centro y norte del área metropolitana es de 13° C. La precipitación media anual oscila entre los 600 y los 1,800 mm.



El clima de tipo semifrío se encuentra en las regiones del centro y oriente, y de manera más significativa en las cercanías del Valle de Toluca.

Los climas cálidos se localizan en el sur, en los límites con el Estado de Guerrero.

El subclima semicálido subhúmedo, se localiza en una pequeña zona al sur del Estado, en parte del municipio de Zacualpan. En esa zona la precipitación media anual varía de entre 1,000 y 1,500 mm, y la mayor afluencia es en verano. Asimismo, la temperatura media anual varía de 18 a 22°C; asciende entre 22 y 23°C en los meses de abril y mayo.

Las temperaturas medias anuales fluctúan entre los 28°C para las áreas bajas del sur poniente y 8°C en las principales montañas.

La temporada de lluvias inicia alrededor de la segunda quincena del mes de mayo, para terminar en la primera quincena del mes de octubre.

Las condiciones geológicas, topográficas y climáticas del Estado de México propician una gran diversidad de suelos, los cuales están representados por 13 grupos *edáficos* de los 38 que existen en el mundo.

Aquí les menciono algunos Municipios Conurbados del Estado de México (según INEGI), algunas de sus características y la población que tenían en 1990.

Acolman, municipio del estado de México, situado al noreste del Distrito Federal. Conurbado a la ciudad de México. Es una región plana de clima templado. Cultivan trigo, lenteja y garbanzo. Población (1990), 43,276 habitantes.

Atenco, municipio del estado de México, ubicado al este del Distrito Federal. Conurbado a la ciudad de México. Clima templado. Asentado en la antigua laguna de Lerma. Tierras muy fértiles. Población (1990), 21,219 habitantes.

Atizapán de Zaragoza, municipio del estado de México, ubicado al norte del Distrito Federal. Conurbado a la ciudad de México. Importante actividad industrial y comercial. Población (1990), 315,192 habitantes.

Coacalco, municipio del estado de México. Forma parte del área metropolitana de la ciudad de México. Terrenos llanos. Actividad agrícola (cultivan maguey). Población (1990), 152,082 habitantes.



Cuautitlán, municipio del estado de México, parte del área metropolitana de la ciudad de México. Antigua zona lechera. Actual centro industrial, comercial y de servicios. Población (1990), 48,858 habitantes.

Cuautitlán Izcalli, municipio del estado de México, forma parte del área metropolitana de la ciudad de México. Totalmente urbanizada. Producción manufacturera y comercial muy importante. Población (1990), 326,750 habitantes.

Chalco, municipio del estado de México, ubicado al sureste del Distrito Federal. Conurbado a la ciudad de México. Cuenta con industria lechera y derivados. Tiene ganado porcino y bovino. Población (1990), 282,940 habitantes.

Chicoloapan, municipio del estado de México, al este del estado. Conurbado a la ciudad de México. Suelo llano, antigua cuenca lacustre. Clima templado. Practican la agricultura y la horticultura. Población (1990), 57,306 habitantes.

Chimalhuacán, municipio del estado de México, ubicado al este del Distrito Federal, al que está conurbado. Suelo de origen lacustre. Cuentan con agricultura, pequeñas industrias y comercio. Población (1990), 242,317 habitantes.

Ecatepec, municipio del estado de México, al norte del Distrito Federal, perteneciente al área conurbada de la ciudad de México. Centro industrial de gran importancia. Población (1990), 1'218,135 habitantes.

Huixquilucan, municipio del estado de México. Conurbado a la ciudad de México. Clima frío y húmedo. Actividad agrícola donde predomina el cultivo del maguey. Explotación forestal. Población (1990), 131,926 habitantes.

Ixtapaluca, municipio del estado de México. Conurbado a la ciudad de México. Clima templado. Situado en una región formada por seis pueblos. Cuenta con actividad agrícola, ganadera y avícola. Población (1990), 137,357 habitantes.

Jaltenco, municipio del estado de México. Conurbado a la ciudad de México. Territorio escarpado, con clima templado. Cuenta con actividad agrícola; maíz, frijol, garbanzo y chile. Ganadería incipiente. Población (1990), 22,803 habitantes.

Melchor Ocampo, municipio del estado de México. Conurbado a la ciudad de México. Territorio montañoso con clima templado y seco. Vías de comunicación deficientes. Cultivo de maíz. Actividad ganadera y avícola. Población (1990), 26,154 habitantes.



Naucalpan, municipio del estado de México, conurbado a la ciudad de México. Clima templado. Actividad agrícola, explotación forestal. Importante zona industrial debido a la cercanía con la capital del país. Población (1990), 786,551 habitantes.

Nextlalpan, municipio del estado de México. Conurbado a la ciudad de México. Terrenos llanos y salitrosos. Clima templado. Recursos: agricultura y productos lacustres en menor proporción. Población (1990), 10,840 habitantes.

Nezahualcóyotl, municipio del estado de México. Conurbado a la ciudad de México. Clima templado. Excelentes vías de comunicación por su cercanía con la capital del país. Actividad comercial. Población (1990), 1'256,115 habitantes.

Nicolás Romero, municipio del estado de México. Conurbado a la ciudad de México. Clima templado. Desarrollo económico gracias a la cercanía con la capital del país. Importante actividad industrial. Población (1990), 184,134 habitantes.

La Paz, municipio del estado de México. Conurbado a la ciudad de México. Clima templado, moderado, lluvioso. Actividad agrícola y avícola. Población (1990), 134,782 habitantes.

Tecámac, municipio del estado de México, ubicado al norte del estado, limita con Hidalgo. Clima seco, frío. Es municipio metropolitano de la ciudad de México. Población (1990), 123,218 habitantes.

Teoloyucan, municipio del estado de México, ubicado al noreste del estado. Conurbado a la ciudad de México. Clima frío y seco. Produce maíz, trigo, cebada, haba y arvejón. Población (1990), 41,964 habitantes.

Tepotzotlán, municipio del estado de México, ubicado al norte del estado. Conurbado a la ciudad de México. Tiene arroyos importantes. Ha aumentado su población por la cercanía a una zona industrial. Población (1990), 39,647 habitantes.

Texcoco, municipio del estado de México, ubicado al este del estado, limita con Puebla y el Distrito Federal. Municipio metropolitano de la ciudad de México. Ganadería. Población (1990), 140,368 habitantes.

Tlalnepantla, municipio del estado de México, ubicado al norte del estado, limita con la ciudad de México. Importante desarrollo industrial. Es municipio metropolitano del Distrito Federal. Población (1990), 702,807 habitantes.



Tultepec, municipio del estado de México, ubicado al noreste del estado, cerca de la ciudad de México, a la que está conurbado. Región plana. Produce maíz, cebada y maguey. Población (1990), 47,323 habitantes.

Tultitlán, municipio del estado de México, ubicado al noreste del estado, limita con ciudad de México. Municipio metropolitano del Distrito Federal. Suelo apto para el cultivo de trigo. Población (1990), 246,464 habitantes.

Valle de Chalco, municipio de estado de México, ubicado en el oriente de la Ciudad de México la superficie territorial es de 44.57 km². Al norte se presenta clima seco en la región centro se presenta clima templado subhúmedo seco y al sur se presenta un clima templado subhúmedo intermedio. Población (2005) 332,279 habitantes.

Zumpango, municipio del estado de México, ubicado en la parte noreste del estado, limita con Hidalgo. Conurbado a la ciudad de México. Región llana. Producción hortícola e industrial. Población (1990), 71,413 habitantes.

Da la lista que enumere antes la población total es de 6'811,441 hab. En 1990

Se puede ver en el **Tab. I.1.3.1** la cantidad de población que existe en los estados que conforman los municipios conurbados de la Ciudad de México al último censo presentado por el INEGI en 2005 conteo rápido.

El estado de México cubre una serie de 22,500 km² representando el 1.1% del total nacional.



I.1.4 Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCD)

Dentro del Valle de México se localiza una de las concentraciones urbano-industriales más grandes del mundo. La Zona Metropolitana de la Ciudad de México, (ZMCM) la cual en las últimas tres décadas triplicó su población, demandando cada vez mayores volúmenes de agua potable; 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; dando lugar a grandes desafíos para la política hidráulica y la acción concertada de instituciones y la sociedad.

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), está formada por el Distrito Federal con 8'742,007 hab. y 35 municipios del Estado de México con 9'499,528 hab. circundantes a éste. La población total de la ZMCM es 18'241,535 hab. cifra que representa el 19.1% de la población total del país. Adviértase la **figura I.1.4.1**.

En esta megalópolis, cuestiones como el abastecimiento y la distribución del agua para el consumo urbano e industrial, configuran grandes desafíos para la política hidráulica y la acción concertada de instituciones y sociedad.

La urbe metropolitana continúa su expansión y demanda mayores volúmenes del recurso. Ante esta situación, el abastecimiento de agua potable representa una prioridad indiscutible. Por un lado, se deben atender las nuevas demandas y, por otro, reducir gradualmente la severa sobreexplotación a que se ha sometido al acuífero del Valle de México.

Por estar asentada en la parte más baja del Valle, en un continuo urbano de 1,800 km.² que obstaculiza la recarga del acuífero, la ZMCM no cuenta con sitios adecuados para regularizar y almacenar el agua de lluvia. Esta situación propicia que, de la lluvia media anual de 6,828 millones de m³ que se precipitan dentro de la cuenca, el 72.00% se evapotranspire y el 11.00%, alrededor de 24.00 m³/s, se infiltre en el subsuelo. Del 17.00% restante que escurre de manera superficial, una pequeña parte es regulada para su aprovechamiento; el resto es conducida al Sistema General de Drenaje para evitar inundaciones.

Actualmente, para la ZMCM se dispone, en promedio de un abastecimiento de agua potable de 61,000 l/s, de los cuales 39,700 l/s provienen del subsuelo del Valle de México 14,700 l/s del Sistema Cutzamala, 5,100 l/s del Sistema Lerma y 1,100 l/s de aprovechamiento superficiales, como la presa Madín y los manantiales del propio Valle.



Del abastecimiento total, la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México (GRAVAMEX) y Sistema Cutzamala suministra a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) un promedio de 22,700 l/s (37.00%) mediante la operación del Sistema Cutzamala y del sistema de pozos denominado. Esta conformado por 217 pozos repartidos en siete ramales ubicados en el Distrito Federal y los estados de México e Hidalgo, por ocho acueductos con una longitud superior a los 200 km, seis plantas de rebombeo, la presa y planta potabilizadora Madín y la planta de Remoción de Fierro y Manganeseo.

La demanda actual en el Distrito Federal es del orden de 34.785 m³/s. En las figuras al termino del capitulo se observa claramente.

Si bien el objetivo de la construcción de los sistemas de distribución **Acuaférico** y **Macrocircuito** es distribuir equitativamente el agua entre la ciudad de México y su área conurbada, esto realmente no se cumple, mientras los municipios conurbados del Estado de México muestran una elevada población sólo reciben el 38 por ciento del total y el Distrito Federal el 62 por ciento.

Por otro lado abastecer de agua a una megalópolis como la Zona Metropolitana de la Ciudad de México es complicado, el Sistema Cutzamala no será suficiente en unos cuantos años y se tendrá que pensar en fuentes alternas.

El acuífero de Apan, la presa de Guadalupe (en el Valle de México), el acuífero de Libres-Oriental (en Puebla), Tecolutla (entre Hidalgo y Veracruz) y Amacuzac son algunas alternativas a corto plazo, aunque generaría conflictos por traer el agua.

Es necesario terminar la construcción de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México lo que corresponden a los ramales Norte y Sur de conducción de Agua Potable, que aun están inconclusos. El ramal Norte, **Macrocircuito**, que está a cargo de la Comisión Nacional del Agua y de la Comisión del Agua del Estado de México, el ramal Sur, **Acuaférico**, es responsabilidad del Departamento del Distrito Federal y de la Secretaría de Obras y Servicios, a través de la extinta Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGOH), ahora Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM).

Actualmente con la combinación del crecimiento de la población y la escasez de recursos hídricos, se hace de extrema importancia un adecuado aprovechamiento del agua, optimizando su obtención, suministro, distribución y uso.



La Ciudad de México que, junto con su área conurbada, es una de las mayores del mundo, afronta una creciente problemática de suministro y distribución de agua, que va paralela a su crecimiento. Está asentada sobre sedimentos "lacustres, que almacenan acuíferos importantes, sin embargo, la recarga natural de estos es menor que el caudal que se extrae. Esto ha llevado a la necesidad de traer agua de otras cuencas, ya que el suministro autosuficiente de la propia cuenca del Valle de México ya no es posible.

Para lograr una mejor distribución de los caudales, provenientes del sistema Cutzamala -que ingresan por el poniente de la ciudad hacia la zona oriente, donde se presenta el mayor déficit y así obtener, a su conclusión, una mejor distribución de agua en la ZMCM.

Como parte del sistema Cutzamala se construyó el túnel Analco-San José, entre los pueblos de San Mateo Atarasquillo y Dos Ríos -ambos situados en el Estado de México-, con una longitud de 12 km. Aquí da inicio el **Acuaférico** y el **Macrocircuito** que funcionan por gravedad, eliminando en gran medida los costos por concepto de bombeo; además de constituir la opción más favorable para suministrar agua para consumo humano en el Distrito Federal y su zona conurbada, así como a diferentes municipios del Estado de México, sobre todo a las zonas más alejadas, como es el oriente de la ciudad. El **Acuaférico** se caracteriza por ser una obra metropolitana, puesto que dará servicio tanto al Distrito Federal como algunas partes del territorio Mexiquense y el **Macrocircuito**.

Se muestra en la **figura 1.2.1** el túnel de salida para el **Acuaférico** y el **Macrocircuito** que va desde la Torre de oscilación No. 5 –que es el camino hacia Valle de Bravo- al portal de entrada del Túnel Analco San José, (favor querido lector remítase al final de los Antecedentes).



I.2 Proyecto Hidráulico del Acuaférico

Durante el presente siglo los viejos acueductos de la ciudad desaparecieron para ser sustituidos por subterráneos de concreto y acero. De los más notorios e importantes fueron los depósitos de Molino del Rey; hasta él llegaron las tuberías procedentes de las bombas de la colonia Condesa que traían el agua proveniente de Xochimilco. Estas tres obras fueron los primeros sistemas abastecedores y distribuidores del agua destinada a las modernas colonias de entonces, como la Roma, la Cuauhtémoc y la Condesa.

De 1950 a 1980 la compleja red de distribución se extendió sin alguna planeación; fue resultado de las presiones y las demandas de las nuevas zonas urbanizadas que surgieron en los cuatro puntos cardinales, principalmente en el norte y oriente de la ciudad. Grandes asentamientos, como ciudad Netzhualcoyotl, resolvieron sus demandas de líquido extendiendo las redes de distribución localizadas en la parte central. Pero otros de igual magnitud, como el Valle de Chalco, se enfrentaron a serias limitaciones para abastecerse de las redes municipales. Ahí hubo la necesidad de crear un sistema propio por medio de pozos con más de 400 metros de profundidad.



I.2.1 Diseño

Todo el **Acuaférico** se diseño de forma con mucho más longitud el cual cierra hasta el **Macrocircuito**, el cual ninguno de los dos todavía no están completamente construidos, pero veamos por etapas el **Acuaférico**:

PRIMERA ETAPA

Inicia en el portal se salida del túnel Analco–San José en el Estado de México, entra por el poniente del Distrito Federal en las delegaciones Cuajimalpa y Álvaro Obregón, y concluye en la trifurcación Cerro del Judío en la Delegación Álvaro Obregón. El túnel tiene un diámetro de 4 m, una capacidad de conducción de 25 m³/s y una longitud de **9,862.00 km**.

Su perfil se puede ver en la **figura 1.2.1.1** que al final del capitulo se muestra, la cual se obtuvo de un libro de la SAGCM con nombre “*Análisis del Comportamiento de Conducción del Túnel No. 5 del Acueducto Perimetral. Delegaciones Tlalpan y Xochimilco*” referente al **Acuaférico**. Comienza de 0+000 y llega al cadenamiento como ya se dijo anteriormente 9+862 y consta de una elevación de 2,532 m.

SEGUNDA ETAPA

La segunda etapa del **Acuaférico** comprende el tramo de la trifurcación el Judío, en la delegación Álvaro Obregón, hasta el portal de salida del Ajusco en la delegación Tlalpan. Esta etapa tiene un desarrollo de **8,395 km** con un diámetro de 4 m. Los siguientes planos se obtuvieron en en la SACM. Refiérase a la **fig. 1.2.1.2**

Cuenta con un descenso de 22 m, como lo podemos apreciar en la figura del perfil de donde llego la etapa anterior, esto es al 2,528.00 m en el cadenamiento 9+862 y llega al final de su recorrido con la elevación 2,550.00 al tanque Ajusco-Primavera en el cadenamiento 18+257. Se obtuvieron los planos de planta y perfil de la segunda etapa, en la biblioteca del libro de la SACM. Ver **figura 1.2.1.3**

TERCERA ETAPA

La tercera etapa con una longitud de **10,504 km**. Esta etapa que inicio en la zona del Ajusco para terminar en la cuarta derivación ubicada en el poblado de San Francisco Tlalnepantla, delegación Xochimilco, tiene el túnel tiene un diámetro de 3.20 m y, para su construcción, se utilizó la máquina tunelera (Topo), que permitió incrementar los rendimientos en la excavación. Esta



etapa ya esta en operación y junto con las otras dos etapas suma una cantidad de **28,761 km.**

Parte del cadenamiento 18+257 con una elevación de 2,550 m y llega al cad. 28+761 elevación de 2,548 m. Remitirse a la figura **I.2.1.4** para poder apreciar su perfil y su planta, y con más detalle en las figuras **I.2.1.5** y **I.2.1.6**

CUARTA ETAPA

La cuarta etapa está contemplada para mediano plazo, en un tramo de 16 km iniciara en San Francisco Tlalnepantla hasta el Cerro del Tehutli en la delegación Milpa Alta. Con esta etapa se proporcionará el servicio a algunos municipios conurbados del Estado de México, partiendo de la derivación del Tehutli con nuevos acueductos, que deberán ser construidos con tuberías. Se beneficiaran con esta la cuarta etapa los poblados de Topilejo y Párres el Tlalpan, San Francisco Tlanepantla, San Andrés Ahuayucan, Santa Cecilia, San Mateo y la cabecera delegacional de Xochimilco.

Esta etapa todavía no esta en construcción pero ya están los planos de la planta y el perfil. Y comienza en el cadenamiento 28+761 con una elevación de 2,548 m y llegará al tanque Tehutli al cadenamiento de 45+181 con una elevación de 2,465 m y recorrerá en un futuro (esperemos que no muy lejano) 16,420 km. En la **figura I.2.1.7** se distingue la planta y el perfil en la **fig. I.2.1.8** de la cuarta etapa.

QUINTA ETAPA

La quinta etapa se encuentra en proyecto y va del Cerro del Tehutli a La Caldera y mejorará a las delegaciones Milpa Alta, Tlahuac, Xochimilco e Iztapalapa. Con una población total beneficiada de 350,000 hab. Como del proyecto no se ha realizado el perfil, únicamente la planta, como la vemos al termino del capitulo. Pase ud. a la **figura I.2.9.**



I.2.2 Construcción

Su construcción se dividió en etapas como lo fue el diseño.

PRIMERA ETAPA

Para definir los frentes de ataque de acuerdo al proceso constructivo del túnel, en la primera etapa, se tuvieron que construir dos *lumberas*. La Cero de 6 m Ø y 41 m profundidad, que se localiza en Santa Fe, en la delegación Cuajimalpa; y la Uno de igual diámetro y de profundidad de 37 m que se ubica en San Bartola Ameyalco en la delegación Álvaro Obregón. Acuaférico

En el año de 1983 comenzó la construcción del **Acuaférico** en su primera etapa, para fines constructivos esta se dividió en 4 tramos que son **tabla I.2.1**

Tab. I.2.1 LONGITUD DEL ACUAFÉRICO PRIMERA ETAPA		
	TRAMO	LONGITUD (m)
1.-	San José – El Borracho	1,752.00
2.-	El Borracho – El Cartero	3,426.00
3.-	El Cartero – Plateros	2,252.00
4.-	Plateros – Cerro del Judío	2,432.00
	TOTAL	9,862.00

También se construyeron *sifones* para cruzar las barrancas constituidos por dos tuberías paralelas de acero de 2.51 m Ø (de diámetro). **Tabla I.2.2**

Tab. I.2.2 SIFONES DEL ACUAFÉRICO PRIMERA ETAPA		
	SIFON	LONGITUD (m)
1.-	San José	350.00
2.-	El Borracho	396.00
3.-	Santa Lucia	380.00
4.-	Plateros	110.00
	TOTAL	1,236.00

Inicia en el portal se salida del túnel Analco–San José en el Estado de México, entra por el poniente del Distrito Federal en las delegaciones Cuajimalpa y Álvaro Obregón, y concluye en la trifurcación Cerro del Judío en la Delegación Álvaro Obregón. El túnel tiene un diámetro de 4 m, una capacidad de conducción de 25 m³/s y una longitud de 9,862.00 km.

Adicionalmente se construyeron una serie de tanques de almacenamiento, para distribuir este caudal en diferentes puntos de la ciudad que presentaban deficiencias en el servicio. La distribución de caudales para el Sistema



Poniente se clasifican de la manera que se enseña en la grafica I.2.2.1 al final de los antecedentes.

SEGUNDA ETAPA

Inicio su construcción el año de 1987 de la segunda etapa, para ello se dividieron sus 10.5 km de longitud en cuatro tramos y se requirió la construcción de la lumbrera No. 2 que se ubica en la delegación Tlalpan, con un diámetro de 8 m y profundidad de 67 m

En esta etapa también se construyeron *sifones* para cruzar las barrancas constituidos por dos tuberías paralelas de acero de 2.51 m Ø (de diámetro).

Se requirió la construcción de la *lumbrera* 2 que se ubica en la delegación Tlalpan, con 8 m Ø y profundidad de 67 m.

Tramos de la segunda etapa:

Tab. I.2.3 LONGITUD DEL ACUAFÉRICO SEGUNDA ETAPA		
	TRAMO	LONGITUD (m)
1.-	Cerro del Judío - Magdalena	2,939.00
2.-	Magdalena - Providencia	678.00
3.-	Providencia - Lumbrera 2	2,717.00
4.-	Lumbrera 2 - Ajusco	2,582.00

Además se construyeron tres sifones similares a los primeros:

Tab. I.2.4 SIFONES DEL ACUAFÉRICO SEGUNDA ETAPA		
	SIFON	LONGITUD (m)
1.-	El Judío	151.00
2.-	Magdalena	582.00
3.-	Providencia	413.00

Esta etapa se terminó de construir en marzo de 1994, beneficiando a 800 mil habitantes.



TERCERA ETAPA

Para esta etapa, se realizaron los estudios y proyectos correspondientes, que incluyen la exploración mediante sondeos directos y perfiles geofísicos a través del método de resistividad. Además de los estudios de laboratorio y gabinete tales como: petrografía, mecánica de rocas, geohidrología, análisis y diseño estructural.

A principios de 1993, se inició la construcción de la tercera etapa, que tiene una longitud de 12 km. Para ello, se realizaron los estudios y proyectos correspondientes, que incluyen la exploración mediante sondeos directos y perfiles geofísicos a través del método de resistividad. Además de los estudios de laboratorio y gabinete tales como: petrografía, mecánica de rocas, geohidrología, análisis y diseño estructural. Esta etapa no contara con sifones.

Tab. I.2.5 LONGITUD DEL Acuífero TERCERA ETAPA		
1.-	Ajusco La Primavera - San Andres Totoltepec	2,310.00
2.-	San Francisco Tlaneplanta	9,687.00
	TOTAL	11,997.00

En este tramo se utilizó la maquina tunelera denominada “Topo” el 27 de enero de 1997. Esta etapa se terminó de construir a finales de 1998, beneficiando a 200 mil habitantes de los poblados de San Andrés, San Pedro Mártir, San Miguel Xicalco y Santo Tomás Ajusco, de la delegación Tlalpan y la cuarta derivación que beneficio a los poblados de Topilejo y Párres en Tlalpan, San Francisco Tlanepantla, San Andrés Ahuayucan, Santa Cecilia, San Mateo y la cabecera delegacional de Xochimilco.

Y con esto damos fin a las etapas del **Acuífero** que ya están construidas.

En la **figuras 1.2.2, 1.2.3** podemos apreciar la planta tipo para las trifurcaciones del **Acuífero** y sus derivaciones, respectivamente.

Método convencional de perforado de túnel.

Fue construido el túnel mediante el método convencional de barrenación-voladura (B–V); en su sección tipo consta de soporte primario compuesto por marcos metálicos de IPR con separaciones de 0.5 a 1.0 m en sección de herradura retacado con cuñas de madera, concreto lanzado ó “shot-cret” de 3 a 10 cm de espesor, revestimiento definitivo de 25 cm con concreto armado, para dejar una sección hidráulica terminada de 4 m de diámetro.



Método maquina perforadora de túneles

Con el propósito de dar mayor rapidez a la construcción del **Acuaférico**, se analizo la posibilidad de conseguir una máquina perforadora de túneles, que se adaptara al tipo de material existente en su trayectoria, además de ofrecer una aceptable relación de costo-beneficio. Para su adquisición, se analizaron y visitaron algunos equipos que se encontraban trabajando en Europa y América; entonces una maquina perforadora de túneles (TOPO) de manufactura Estadounidense fue la más idónea para este tipo de suelo.

Tab. I.2.6 PRINCIPALES ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO		
CONCEPTO	CAPACIDAD	UNIDAD
Tipo	Doble Escudo	--
Diámetro de la cabeza cortadora	3.64	m
Potencia de la cabeza cortadora	1,250.00	H.P.
No. de motores	5	pza.
Potencia de los motrores	250	H.P.
Fuerza de Empuje	8	--
Velociadad de Rotación de la Cabeza Cortadora	11.00 máx	r.p.m.
	1.80 mín	r.p.m.
Par Motor de la Cabeza Cortadora	755	KNm
Discos Cortadores	25	pza.
Diámetro de los Discos Cortadores	43	cm
Peso de la Méquina Tunelera	185	Ton
Extracción Máxima de Rezaga	180	Ton/hr
Avanca en Excavación	16	m/día

Este procedimiento de excavación inicio su operación en la tercera etapa constrictiva del **Acuaférico** permitiendo un rendimiento promedio de 20 m/día.

Con la utilización del topo en la excavación del túnel se tiene una sección de 3.60 m de diámetro, y con el revestimiento definitivo con base en una dovela de concreto armado en la cubeta y el resto colado en sitio, se tiene una sección terminaba de 3.20 m.

En 1993 se inició la construcción de la tercera etapa del **Acuaférico** que da principio en la zona del Ajusco y termina en la cuarta derivación, aun en proyecto, en la zona San Francisco Tlaneplantla. Delegación Xochimilco. En este tramo se utilizó la máquina tunelera denominada "Topo". En las imágenes que se manifiestan al fin del capitulo, se puede apreciar los barrenos, el colado del túnel, la maquina perforadora llamada topo y la arribo del mismo.



A principios de 1997, se concluyó la excavación de 6,307.00 m de túnel comprendidos entre la derivación 3 y 4 que cuenta con de un diámetro de 3.20 m, adicionalmente se han excavado mediante el procedimiento convencional el restante de lo que concierne a la tercera etapa.

Con esta conclusión de la tercera etapa del **Acuaférico** se puso en operación la tercera derivación con lo que se benefició a 200 mil habitantes de los poblados de San Andrés, San Pedro Mártir, San Miguel Xicalco y Santo Tomas Ajusco, de la delegación Tlalpan.

La construcción de la tercera etapa se beneficiaron múltiples de colonias y miles de habitantes es por eso que no se debe de dejar de construir la cuarta etapa.

Con la puesta en operación de las etapas 1, 2 y 3 del **Acuaférico** se mejoró el suministro de agua potable en la zona sur-poniente del Distrito Federal. Una vez que entren en operación las etapas subsecuentes se lograrán beneficios similares para las zonas oriente y sur-oriente de la ciudad.

Todos los habitantes de la Ciudad de México disfrutan del servicio de agua potable, 98% a través de tomas domiciliarias y el 2% restante mediante carros-cisterna. Para cubrir sus requerimientos se suministra un caudal promedio de 34.8 mil litros por segundo; el 56% proviene del acuífero del Valle de México, 28% del Sistema Cutzamala, 14% del Sistema Lerma y el restante 2% de manantiales y del río Magdalena realizados éstos al sur y poniente de la ciudad.

Con relación a las perspectivas el suministro de agua potable a la Ciudad de México y su zona conurbada, el Departamento del Distrito Federal, la Comisión Nacional del Agua (CNA) y el Gobierno del Estado de México, trabajan en una estrategia metropolitana para el abastecimiento de agua, basada fundamentalmente en un mayor aprovechamiento de los recursos hídricos y la preservación de las fuentes de abastecimiento.

1.3 Proyecto Hidráulico del Macrocircuito

Para distribuir los caudales del Sistema Cutzamala que suministran a la Ciudad de México y municipios conurbados del Estado de México, la Comisión Nacional de Agua conjuntamente con el Gobierno del Estado de México y el Gobierno del Distrito federal, concibieron un sistema de distribución a la salida del túnel Analco-San José, a través de una estructura de bifurcación hacia los Ramales Norte y Sur, que a su vez, cuentan con subramales que llegan a los diversos tanques de regulación.



Estas condiciones conforman en el Estado de México el denominado Ramal Norte –**Macrocircuito** y en el Distrito Federal el Ramal Sur –**Acuaférico** de Distribución.

I.3.1 Diseño

En 1987 da inicio la operación del Ramal Norte denominado **Macrocircuito** de Distribución a la fecha su infraestructura permite alimentar a los municipios de Huixquilucan, Naucalpan, Tlalnepantla, Nicolás Romero, Atizapán de Zaragoza, Cuautitlán Izcalli, Tultitlán, Coacalco y Ecatepec todos ellos ubicados en la zona norte y noroeste.

La línea de Conducción No. 2 del **Macrocircuito** es la de nuestro interés, pues es esta la que se va a conectar con el Acuaférico, del Sistema Cutzamala se desarrollará en las zonas oriente y sur - oriente del Estado de México beneficiando a 18 municipios conurbados a la Ciudad de México, los cuales se enlistan a continuación.

Tab I.3.1 Municipios Conurbados que se beneficiarán con el Macrocircuito de Distribución	
1	Atizapán de Zaragoza
2	Chalco
3	Chicoloapan
4	Chimalhuacán
5	Coacalco
6	Cuautitlan
7	Cuautitlan Izcalli
8	Ecatepec
9	Huixquilucan
10	Ixtapaluca
11	Naucalpan
12	Nezahualcóyotl
13	Nicolás Romero
14	La Paz
15	Tecámac
16	Tlalnepanla
17	Tultitlán
18	Valle de Chalco



PRIMERA ETAPA

La primera etapa, en operación desde octubre de 1994, de 31.0 kilómetros de longitud, consta de 12.5 km de túneles de sección tipo herradura, de 3.5 m de $\varnothing$, y continúa con una línea de 18.5 km de tuberías de concreto preesforzado y acero, tanques de regulación e importantes estructuras de cruce y derivaciones, mediante la cual se suministran 3,926 l/s, que sumados al caudal de distribución directa del túnel benefician a 2 millones 560 mil habitantes de los municipios de Huixquilucan, Naucalpan, Tlalnepantla, Nicolás Romero y Atizapán de Zaragoza.

El acueducto inicia en el túnel Analco - San José en Dos Ríos, municipio de Huixquilucan y llega al Tanque "Emiliano Zapata", en el municipio de Atizapán de Zaragoza, Estado de México, teniéndose en el trayecto las tomas de La Mina, La Magdalena, El Olímpico, Loma Colorada, Bella Vista, México Nuevo, San Javier, Atizapán III y Emiliano Zapata.

SEGUNDA ETAPA

La segunda etapa, en operación desde junio de 1995, comprende un acueducto de 11.0 kilómetros entre el tanque "Emiliano Zapata" hasta su conexión con el tanque NZT (Naucalpan, Zaragoza, Tlalnepantla) localizado en la Planta de Distribución Barrientos, ubicada en el municipio de Tlalnepantla; en su trayecto abastece las tomas de los tanques Chalma y Villas de la Hacienda para beneficio de 865 mil habitantes, asentados en los municipios de Atizapán de Zaragoza, Cuautitlán Izcalli, Tultitlán y Tlalnepantla.

TERCERA ETAPA

La tercera etapa, en operación desde junio de 1996, en su tramo Barrientos - Coacalco de 13.53 km de longitud, está integrada por tuberías de concreto preesforzado y acero con el cual se mejora el servicio de agua potable al municipio de Coacalco.

Otra obra de la tercera etapa del **Macrocircuito**, también en operación, es la línea de derivación para abastecer de agua potable al municipio de Cuautitlán Izcalli. Esta línea se inicia en el tanque de almacenamiento "Chalma" y llega hasta los tanques denominados Bosques del Lago, No.6, Gemelos y No.3 La Piedad.

Tiene 12 km de longitud con tuberías de fibrocemento y acero de 30 y 24 pulgadas de diámetro; suministra actualmente 313 l/s.



El siguiente tramo comprende desde el tanque Coacalco hasta el tanque Cerro Gordo en el municipio de Ecatepec, tiene 13.6 km de longitud con tuberías de concreto preesforzado y acero de 54" de $\varnothing$ y 48 de $\varnothing$, están en operación desde junio de 1999; y suministra actualmente 760 l/s del vital líquido al municipio de Ecatepec.

De acuerdo al proyecto del **Macrocircuito**, éste se cerraría en el tanque La Caldera, en el municipio de La Paz, conectándose con el Acueducto del Ramal Sur - **Acuaférico**. La línea principal de éste tramo, tendrá una longitud de 22.7 km y abastecerá a los municipios de Nezahualcóyotl, La Paz, Chimalhuacán y Chalco.

Otra fuente de abastecimiento para el Estado de México es el sistema que comprende los ramales Tizayuca-Pachuca, Teoloyucan, Los Reyes-Ferrocarril, Los Reyes-Ecatepec y Atlamica, con 157 pozos, así como la planta de bombeo de Barrientos y los tanques reguladores Naucalpan-Zaragoza-Tlalnepantla (NZT). Esta zona cuenta también con pozos aislados, situados en Satélite, Huehuetoca y los fraccionamientos de Izcalli. Este sistema aporta un caudal de 9.5 m³/s.

I.3.2 Construcción

INFRAESTRUCTURA PARA EL DESARROLLO

Dentro del Marco Físico de la zona beneficiada por la construcción de la Línea de Conducción No. 2 del **Macrocircuito** del Ramal Norte del Sistema Cutzamala, es importante destacar el propósito fundamental del nuevo Plan Estatal de Desarrollo Urbano el cual consiste en establecer una estrategia de ordenación territorial para orientar el proceso de población y urbanización.

En el rubro de la infraestructura es donde se presenta la principal problemática para el logro de un desarrollo urbano ordenado y sustentable en el Estado de México. El punto crítico lo constituye la dotación y distribución de agua potable, se considera que si no se resuelve este aspecto, las posibilidades de atender el crecimiento esperado en forma adecuada serán cada vez menores, lo que imposibilitaría no solo elevar, sino simplemente mantener los niveles de calidad de vida de la población mexiquense.

Si bien, se observa en general una situación cada vez más favorable en la entidad respecto a la cobertura de la infraestructura urbana y regional, cabe señalar que se presentan agudas disparidades entre regiones y municipios, así como al interior de las zonas metropolitanas, donde la ubicación de asentamientos en zonas no aptas dificulta y encarece la introducción y



dotación de servicios como el agua potable, el drenaje, electrificación y vialidades.

Para enfrentar lo anterior el Gobierno del Estado de México ha identificado proyectos de gran impacto económico y social para el desarrollo de la zona beneficiada, que por su nivel de complejidad implican integrar aspectos técnicos, financieros, jurídicos, administrativos y operacionales. Estos proyectos requieren la coordinación con diversos sectores de la administración pública y la concertación con otros niveles de gobierno, así como la participación social y privada.

Para su construcción se elaboró en tramos que se atacaron casi en forma paralela, como sigue:

TRAMO 1: LUMBRERA NO. 3 -- TOMA IV

Este tramo inicia en la Lumbrera No. 3 del túnel Analco-San José en Dos Ríos, municipio de Huixquilucan y llega a la Toma IV, se estima un gasto inicial de proyecto de $9,787 \text{ m}^3/\text{s}$ y se integra con tubería de 2.514 m (99") de $\varnothing$; en su trayecto se tiene una derivación en la toma La Mina hacia el tanque Huixquilucan con un gasto de $0.57 \text{ m}^3/\text{s}$, este gasto se distribuye a los municipios de Huixquilucan y Naucalpan. El gasto de llegada a la Toma IV es de $9.190 \text{ m}^3/\text{s}$.

TRAMO 2: TOMA IV - BIFURCACIÓN

Este tramo inicia en el cadenamamiento 0+000 y termina en el cadenamamiento 0+810. Se estima un gasto de proyecto de $9.190 \text{ m}^3/\text{s}$, el diámetro de la tubería es de 2.514 m (99") y tiene una longitud de 0.81 km.

TRAMO 3: BIFURCACIÓN - TANQUE BELLAVISTA. (LÍNEAS No. 1 Y 2 EXISTENTES)

Este tramo inicia en el cadenamamiento 0+810 y termina en el cadenamamiento 6+080. Se estima un gasto inicial de proyecto de $9.190 \text{ m}^3/\text{s}$ a partir de este punto de Bifurcación se integran 3 líneas de conducción de tubería de 1.219 m (48") de $\varnothing$, con una longitud de 5.27 km cada una de ellas. Actualmente existen las líneas No. 1 y 2, por lo que se considera la construcción de una tercera. A partir del tanque Bellavista de $25,000 \text{ m}^3$ de capacidad se tiene una derivación hacia los tanques: Lomas Verdes Alto, Lomas Verdes Bajo y Diplomáticos (derivación y tanques existentes); de esta derivación se le suministra agua en bloque a los municipios de: Naucalpan un gasto $0.346 \text{ m}^3/\text{s}$ a Atizapán de Zaragoza un gasto $0.054 \text{ m}^3/\text{s}$ y a Tlalnepantla $0.379 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que el gasto total que se deriva en el tanque Bellavista es de $0.779 \text{ m}^3/\text{s}$.



**TRAMO 4: TANQUE BELLAVISTA - TANQUE EMILIANO ZAPATA
(LÍNEA NO. 1 EXISTENTE)**

Este tramo inicia en el cadenamamiento 6+080 y termina en el cadenamamiento 16+136. Se estima un gasto inicial de proyecto de $3.186 \text{ m}^3/\text{s}$, el diámetro de la tubería es de 1.219 m (48") y tiene una longitud de 10.06 km. En el cadenamamiento 11+640 se tiene una derivación hacia el tanque México Nuevo, a partir del cual se le suministra al municipio de Atizapán de Zaragoza un gasto de $0.030 \text{ m}^3/\text{s}$; en el cadenamamiento 14+177 existe una Caja Rompedora de Presión y actualmente en el cadenamamiento 14+726 se tiene una derivación hacia el tanque San Javier de $10,000 \text{ m}^3$ de capacidad, a partir del cual se le suministra a los municipios de Atizapán de Zaragoza un gasto de $0.001 \text{ m}^3/\text{s}$ y a Nicolás Romero un gasto de $0.300 \text{ m}^3/\text{s}$, dado que no es posible conducir este gasto hasta el tanque San Javier por gravedad, se tiene la necesidad de implementar una planta de bombeo, misma que será provisional, posteriormente se considera que el gasto total derivado al tanque San Javier se suministrará a partir de la línea No. 2 de proyecto, permitiéndose con ello operar esta derivación por gravedad; en el cadenamamiento 16+290 se cuenta con una derivación hacia el tanque Atizapán III de capacidad de $2,500 \text{ m}^3$, mismo que suministra, de agua al municipio de Atizapán de Zaragoza con un gasto de $0.308 \text{ m}^3/\text{s}$; finalmente a partir del tanque Emiliano Zapata de $5,000 \text{ m}^3$ de capacidad se tienen derivaciones hacia los municipios de Cuautitlán Izcalli un gasto $0.458 \text{ m}^3/\text{s}$ y Atizapán de Zaragoza un gasto $0.190 \text{ m}^3/\text{s}$. El gasto total que se deriva en este tramo es de $0.986 \text{ m}^3/\text{s}$.

**TRAMO 5: TANQUE EMILIANO ZAPATA – TANQUE PROVIDENCIA
(LÍNEA NO. 1 EXISTENTE)**

Este tramo inicia el cadenamamiento 16+136 y termina en el cadenamamiento 23+453. Conduce un gasto inicial de proyecto de $2.200 \text{ m}^3/\text{s}$, el diámetro de la tubería es de 1.219 m (48") y tiene una longitud de 7.32 km. En el cadenamamiento 18+427 se tiene una derivación hacia el tanque Chalma de $3,000 \text{ m}^3$ de capacidad, a partir del cual se le suministra al municipio de Atizapán de Zaragoza un gasto de $0.127 \text{ m}^3/\text{s}$; en el cadenamamiento 19+778 se tiene una derivación hacia el tanque Villas de la Hacienda de $1,300 \text{ m}^3$ de capacidad, mismo que suministra al municipio de Atizapán de Zaragoza un gasto de $0.212 \text{ m}^3/\text{s}$; se tiene una derivación al municipio de Atizapán de Zaragoza de $0.087 \text{ m}^3/\text{s}$; finalmente a partir del tanque Providencia de $50,000 \text{ m}^3$ de capacidad, se tiene una derivación hacia el municipio de Cuautitlán Izcalli un gasto $0.030 \text{ m}^3/\text{s}$. El gasto total que se deriva en este tramo es de $0.456 \text{ m}^3/\text{s}$.



**TRAMO 6: TANQUE PROVIDENCIA - TANQUE CERRO GORDO
(LÍNEA NO. 1 EXISTENTE)**

Este tramo inicia en el cadenamiento 23+453 y termina en el cadenamiento 52+700. Se estima un gasto inicial de proyecto de 3.682 m³/s, el diámetro de la tubería es de 1.219 m (48") y de 1.372 m (54"), tiene una longitud de 29.25 km. En el cadenamiento 26+360 se tiene una derivación hacia el tanque NZT de 11,000 m³ de capacidad, a partir del cual se le suministra a los municipios de Tultitlán un gasto de 0.730 m³/s y Tlalnepantla un gasto de 0.342 m³/s; adicionalmente se tiene una derivación al municipio de Tultitlán de 0.049 m³/s; en el cadenamiento 40+198 se tiene una derivación hacia el tanque Coacalco de 10,000 m³ de capacidad, mismo que suministra al municipio de Coacalco un gasto de 0.390 m³/s; en el cadenamiento 43+948 se tiene una derivación hacia el tanque Tecámac de 10,000 m³ de capacidad (derivación y tanque en proyecto) a partir del cual se le suministra a los municipios de Ecatepec un gasto de 0.687 m³/s y a Tecámac un gasto de 0.319 m³/s; finalmente a partir del tanque Cerro Gordo de 15,000 m³ de capacidad se tiene una derivación hacia el municipio de Ecatepec un gasto 1.165 m³/s. El gasto total que se deriva en este tramo es de 3.682 m³/s.

Se pueden apreciar las figuras de construcción al final de los antecedentes.

TRAMO 7: TANQUE BELLAVISTA - PUNTO DE UNIÓN (LÍNEA NO. 1 EXISTENTE CON LÍNEA 2 NUEVA)

Este tramo inicia en el cadenamiento 6+080 y termina en el cadenamiento 7+520. Se estima un gasto de proyecto de 5.225 m³/s y se integra por 2 líneas de conducción: la primera es de 1.219 m (48") de $\emptyset$ ya existente y la segunda de 1.524 m (60") de $\emptyset$, en proyecto, con una longitud de 1.44 km. Considérese las figuras al desenlace del capítulo.

El tramo anterior Tanque Bellavista se repite, en realidad no es una línea de conducción de agua potable sino son 3 líneas que conducen este vertiente preciado, la primera es de la toma 4 hasta Cerro Gordo, la segunda que inicia en la toma 4 y termina en La Caldera, la tercera, más pequeña y última de la toma 4 a Bellavista.



1.4 Fugas

Las pérdidas de agua registrada en el sistema de distribución son ocasionadas por las fugas en las redes de distribución, tomas domiciliarias y desperdicios de usuarios. Las fugas dependen de varios factores: antigüedad de las tuberías, tipo de material y la profundidad de la instalación; además de las presiones en las redes de distribución y el tipo de suelo en que éstas se hallan instaladas.

La determinación de los caudales desaprovechados se consiguió a partir de una muestra de 4,611 posibles fugas domiciliarias, presentadas en diversas delegaciones.

Las pérdidas totales de agua potable en el Distrito Federal, son de aproximadamente $12.88 \text{ m}^3/\text{s}$, cifra que representa un 37% del caudal que ingresa al D.F. Estas pérdidas están constituidas como siguen: $7.73 \text{ m}^3/\text{s}$ en tomas domiciliarias y $5.15 \text{ m}^3/\text{s}$ en redes de distribución, tanto primaria como secundaria.

La demanda de agua se integra por los consumos de los usuarios más las perdidas del recurso que se presentan como fugas en la infraestructura de distribución, tomas domiciliarias, tomas clandestinas y desperdicios. La demanda actual en el D.F. es del orden de $34.785 \text{ m}^3/\text{s}$, que corresponde a una dotación promedio de 351 l/hab/día.

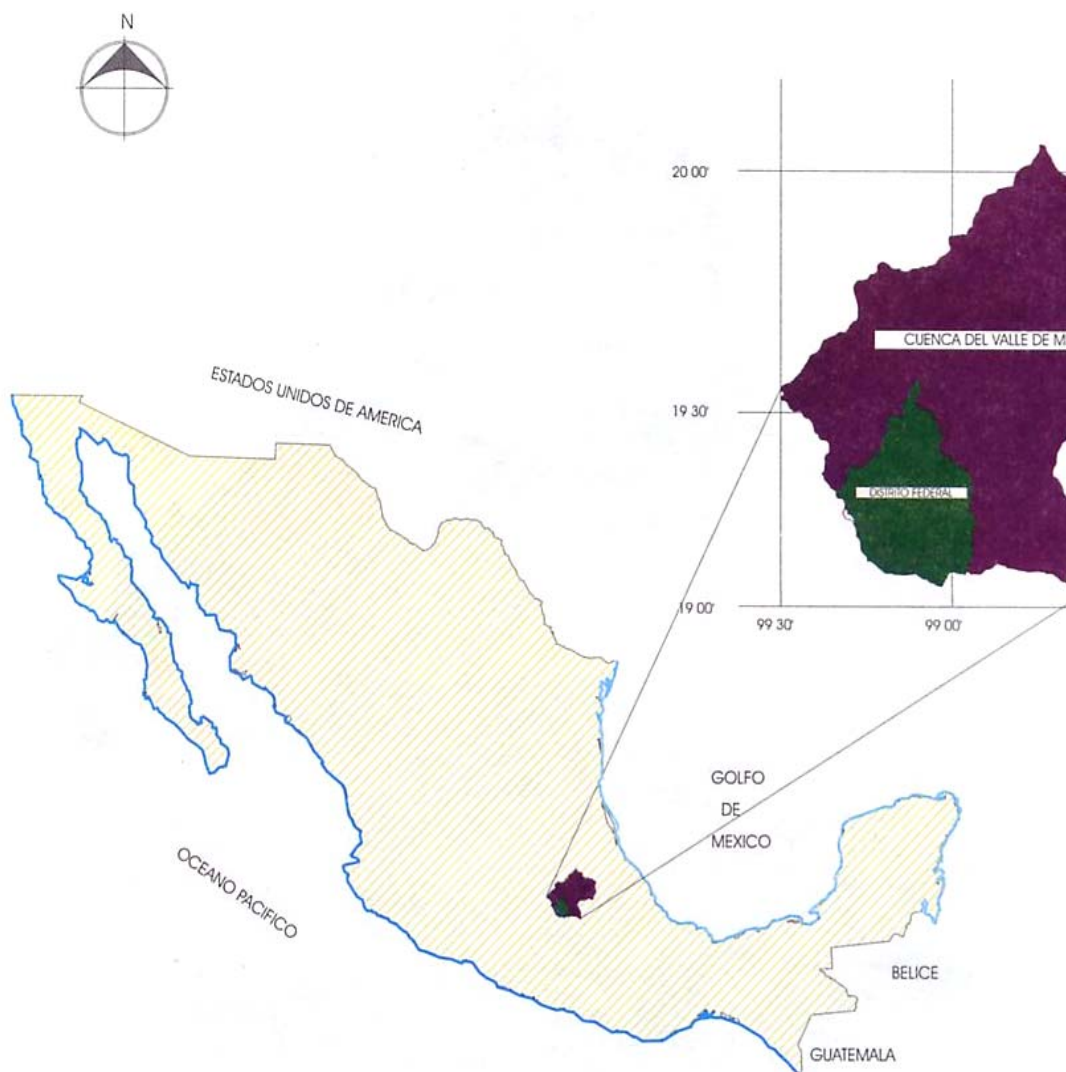
La demanda calculada para el año 2010, considerando que los programas instrumentados para ahorro del agua, operen con el 100% de eficiencia, indican que esta será de 26.50 l/hab/día.

El sistema de abastecimiento de agua potable se integra por las fuentes y los diversos componentes de la infraestructura que permiten obtener, conducir, regular y distribuir hasta los domicilios el caudal que requieren los diversos usuarios existentes en el D.F.

Atiéndase las **figuras I.4.1 y I.4.2** de fugas realizadas por el Compendio 2007.



Fig. I.1 Localización del Distrito Federal y Cuenca del Valle de México



SIMBOLOGIA

- Limite de cuenca hidrografica
- Limite de la Republica Mexicana

**Fig. I.1.1 Cuenca del Valle de México**



Tab. I.1.3.1 Municipios Conurbados

	MUNICIPIO	POBLACIÓN
1 .-	Acolman	77,035
2 .-	Atenco	42,739
3 .-	Atizapán de Zaragoza	472,526
4 .-	Chalco	257,403
5 .-	Chiautla	22,664
6 .-	Chicoloapan	170,035
7 .-	Chiconcuac	19,656
8 .-	Chimalhuacán	525,389
9 .-	Coacalco de Berriozábal	285,943
10 .-	Coyotepec	39,341
11 .-	Cuautitlán	110,345
12 .-	Cuautitlán	97,686
13 .-	Ecatepec de Morelos	1,688,258
14 .-	Huixquilucan	224,042
15 .-	Ixtapaluca	429,033
16 .-	Jaltenco	26,359
17 .-	La Paz	232,546
18 .-	Melchor Ocampo	37,706
19 .-	Naucalpan de Juárez	821,442
20 .-	Nextlalpan	22,507
21 .-	Nezahualcóyotl	1,140,528
22 .-	Nicolás Romero	306,516
23 .-	Papalotla	3,766
24 .-	Tecámac	270,574
25 .-	Teoloyucán	73,696
26 .-	Teotihuacán	46,779
27 .-	Tepetlaoxtoc	25,523
28 .-	Tepotzotlán	67,724
29 .-	Texcoco	209,308
30 .-	Tezoyuca	25,372
31 .-	Tlalnepantla de Baz	683,808
32 .-	Tultepec	110,145
33 .-	Tultitlán	472,867
34 .-	Valle de Chalco Solidaridad	332,279
35 .-	Zumpango	127,988
	TOTAL	9,499,528



Fig. I.1.2 Delegaciones Políticas del Distrito Federal

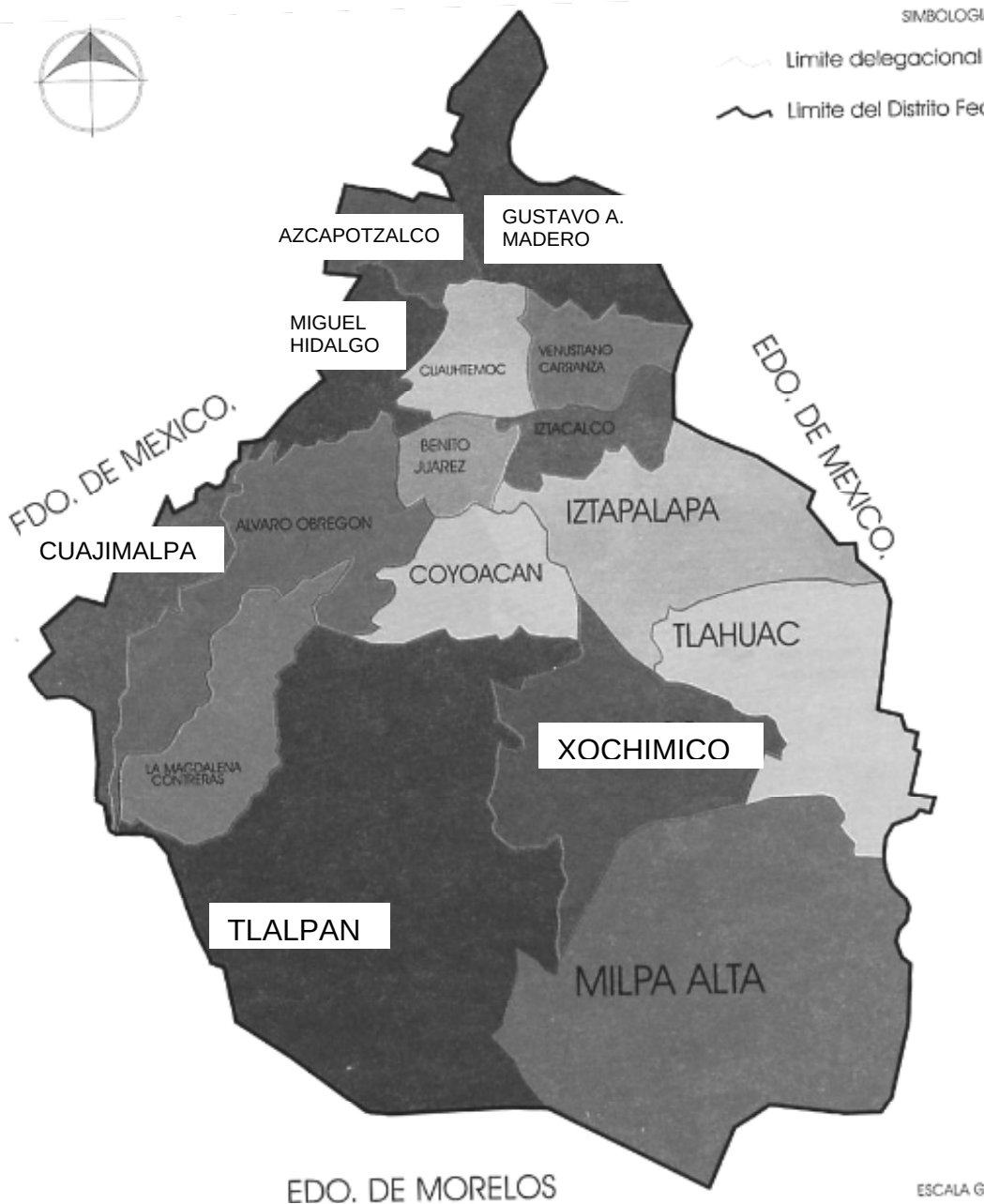
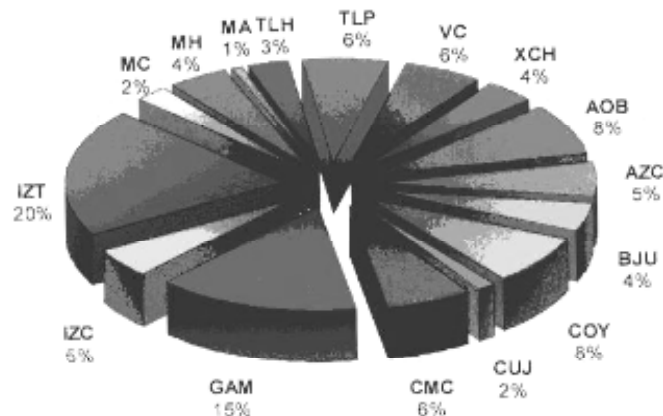




Fig. I.1.2.4 Población por delegación

Población por delegación en el Distrito Federal*
Año 2006, población total: 8.742 millones de habitantes

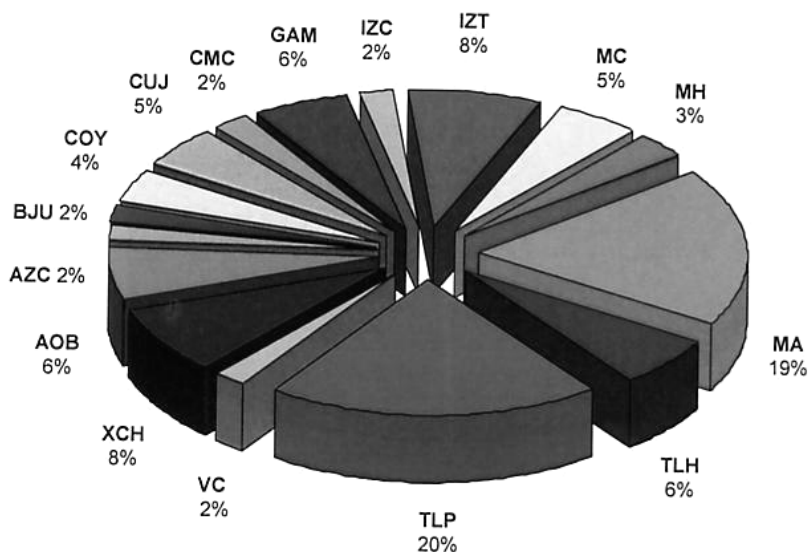
DELEGACIÓN		POBLACIÓN				SUPERFICIE		DENSIDAD	
		MILES	%	TOTAL	%	(Km ²)	%	TOTAL	URBANA
A. Oregón	(AOB)	699,348	8.0	93.67	6.24	50.52	7.99	7,466.80	13,842.99
Azcapotzalco	(AZC)	463,318	5.30	33.30	2.72	33.30	5.27	13,913.45	13,913.45
B. Juárez	(BJU)	384,641	4.40	26.63	1.77	26.62	4.21	14,443.91	14,449.33
Coyoacán	(COY)	673,122	7.70	54.00	3.60	54.00	8.54	12,465.22	12,465.22
Cuajimalpa	(CUJ)	139,870	1.60	80.95	5.39	16.22	2.56	1,727.85	8,623.28
Cuauhtémoc	(CMC)	559,478	6.40	31.60	2.10	31.60	5.02	17,705.00	17,705.00
G.A. Madero	(GAM)	1,293,793	14.80	86.62	5.77	73.96	11.69	14,936.43	17,493.15
Iztacalco	(IZC)	428,350	4.90	23.00	1.53	23.30	3.68	18,623.93	18,384.14
Iztapalapa	(IZT)	1,748,369	20.0	116.67	7.77	108.15	17.10	14,985.59	16,166.15
M. Contreras	(MC)	218,546	2.50	75.80	5.05	31.87	5.04	2,883.19	6,857.43
M. Hidalgo	(MH)	375,899	4.30	46.99	3.13	46.99	7.43	7,999.56	7,999.56
M. Alta	(MA)	87,418	1.00	283.75	18.90	14.45	2.28	308.08	6,049.72
Tláhuac	(TLH)	262,255	3.00	85.34	5.68	12.74	2.01	3,073.07	20,585.19
Tlalpan	(TLP)	568,220	6.50	304.49	20.78	50.23	7.94	1,866.14	11,312.36
V. Carranza	(VC)	498,285	5.70	33.42	2.23	33.42	5.28	14,909.79	14,909.79
Xochimilco	(XCH)	340,932	3.90	125.17	8.34	25.05	3.96	2,723.75	13,610.06
TOTAL		8,741,846	100.0	1,501.40	100.0	632.42	100	5,822.46	13,822.85



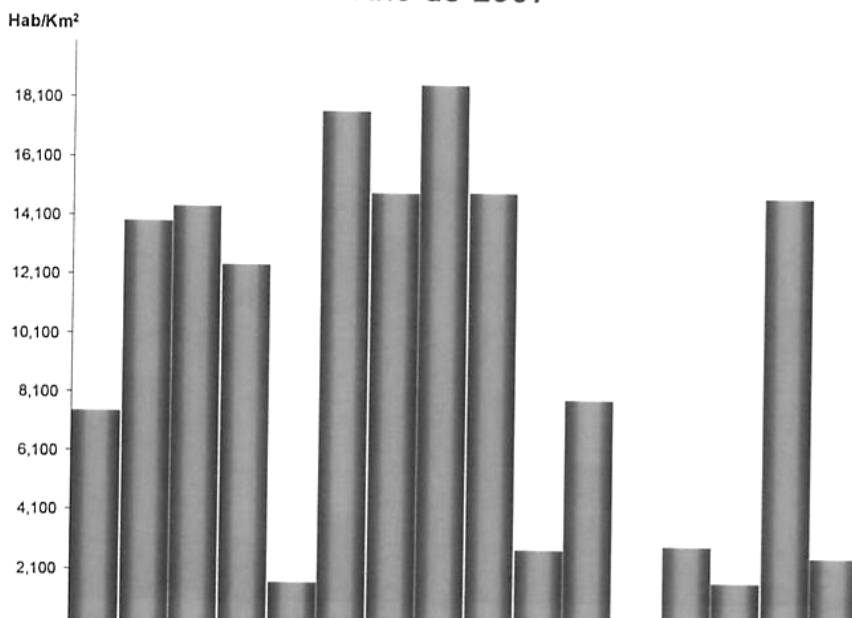
*Fuente:
Rápido



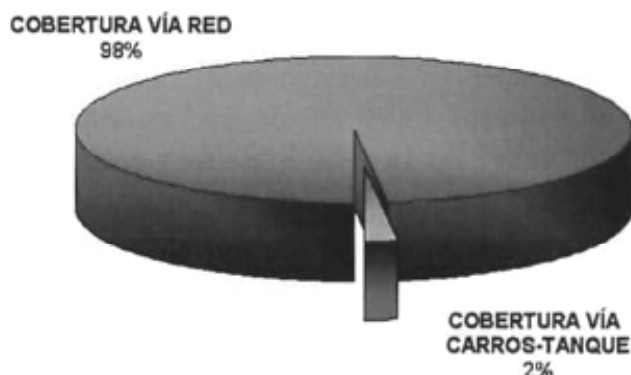
Fig. 1.1.2.5 Área por delegación
Área por delegación en el Distrito Federal*
 Superficie total: 1,501.40 kilómetros cuadrados



Densidad de población en el Distrito Federal*
 Año de 2007



*Fuente: INEGI
 Censo Rápido de
 Población y
 vivienda 2005.

**Fig. I.1.2.6 Dotación de Agua Potable****NIVEL DE SERVICIO DE AGUA POTABLE EN EL D.F. (2007)****INFRAESTRUCTURA DE AGUA POTABLE EN OPERACIÓN* (2007)**

1,057	Kilómetros de red primaria (a)
12,287	Kilómetros de red secundaria (b)
34	Kilómetros del acueducto perimetral
533	Kilómetros de acueductos y líneas de conducción (*)
355	Tanques de almacenamiento (c)
267	Plantas de bombeo
37	Plantas potabilizadoras (33 a pie de pozo)
15	Plantas cloradoras
976	Pozos
69	Manantiales
56	Estaciones medidoras de presión
435	Dispositivos de cloración

POZOS A CARGO DEL SACM

	SISTEMA	TOTAL	EN OPERACIÓN	FUERA DE OPERACIÓN
Lerma *	Acueductos	264	225	39
	A pueblos	39		
	Riego	92		
Subtotal		395		
Valle de México	Chiconahutla	44	29	15
	Centro	75	60	15
	Norte	37	27	10
	Oriente	82	46	36
	Poniente	27	11	16

*Fuente:
Dirección de
Agua Potable y
Potabilización

- (a) Se considera como red primaria si el diámetro varía de 0.5 a 1.5 metros.
(b) Se considera como red secundaria si el diámetro es menor a 0.5 metros.
(c) La capacidad conjunta de los tanques es de 1'749,207 metros cúbicos.

Nota:

- (*) Son las líneas que conforman la zona de captación básica.

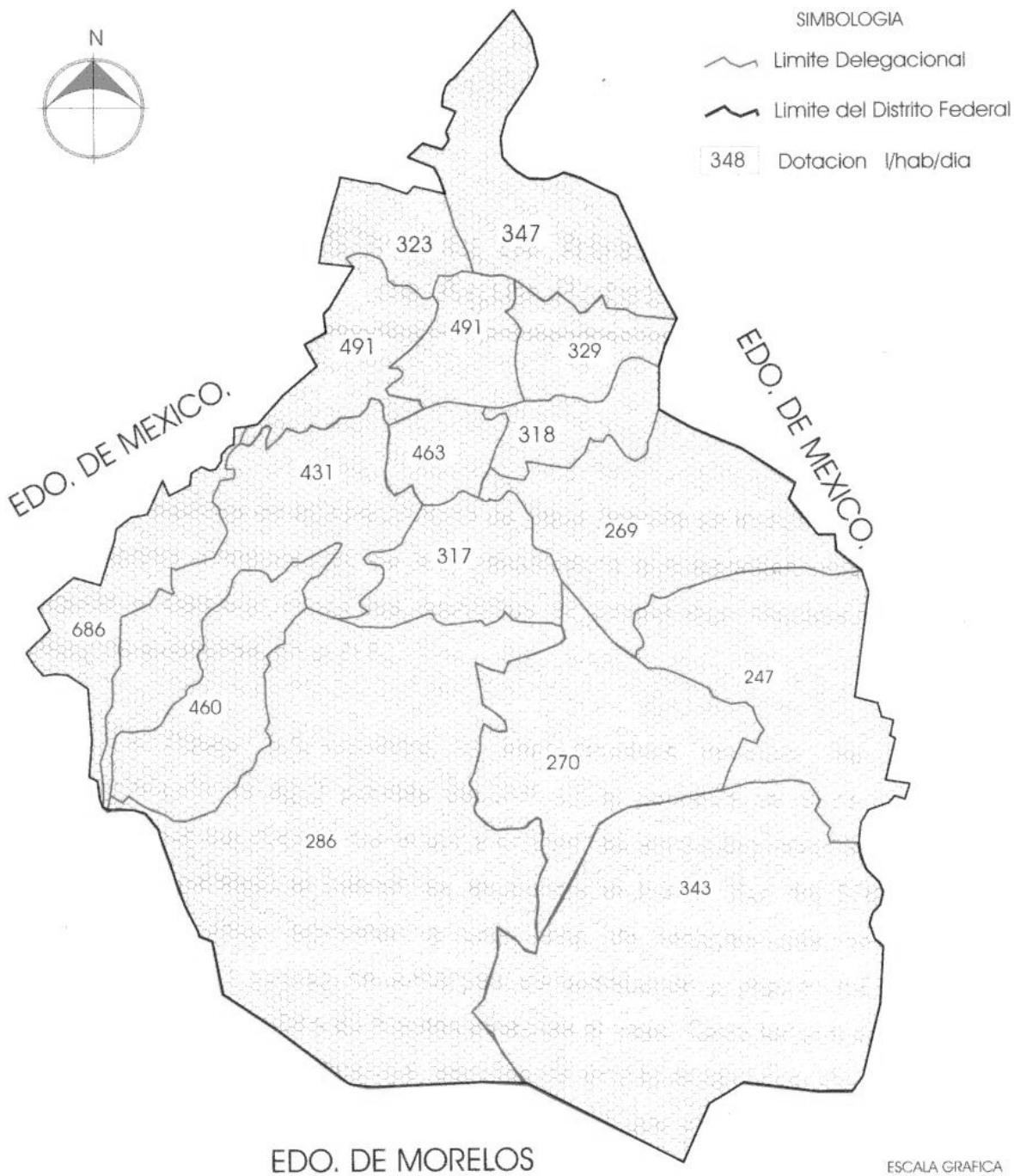
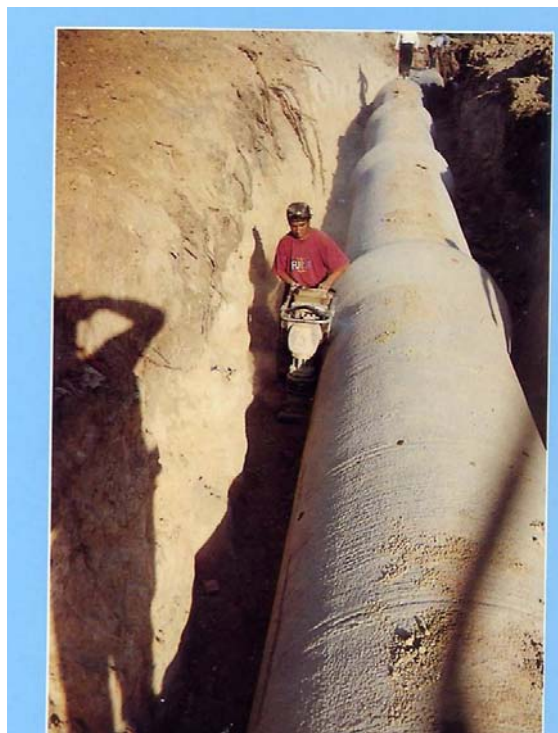
**Fig. I.1.2.7 Distribución espacial de la dotación**



Fig. I.3.2.1



Fig. I.3.2.2





I.3.2.3

TRAMO COACALCO-CERRO GORDO



Se colocó tubería pretensada de alta resistencia

I.3.2.4





I.3.2.5



Trabajos de protección anticorrosiva de tubería de a

Fig. I.3.2.6



Tendido de tubería de concreto presforzado

Fig. I.3.2.7



Conexión del Acueducto al tanque "Cerro G



Fig. I.3.2.8

CONSTRUCCIÓN DEL MACROCIRCUITO

Fig. I.3.2.9



Fig. I.2.1.8 Perfil de la Cuarta Etapa

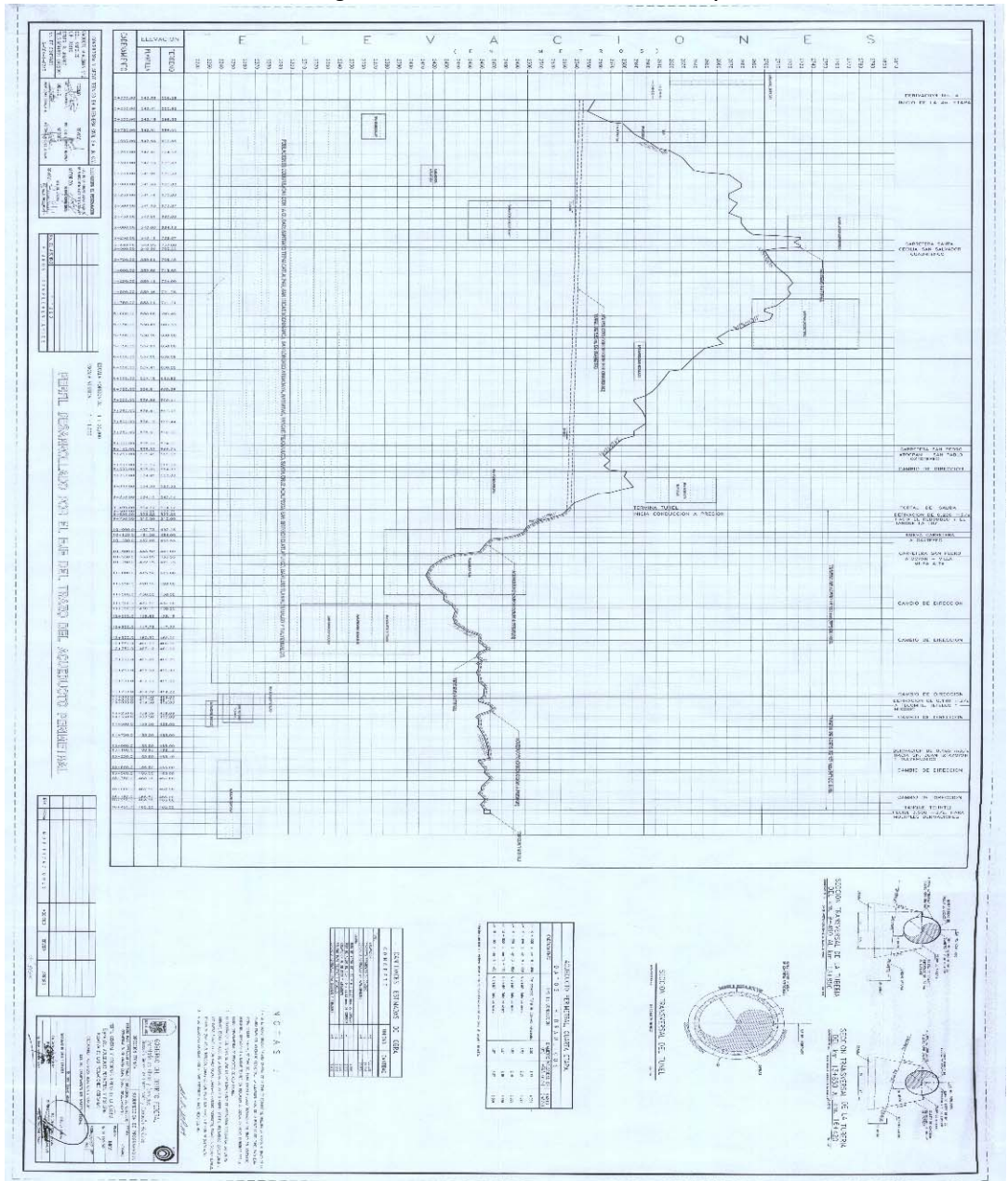


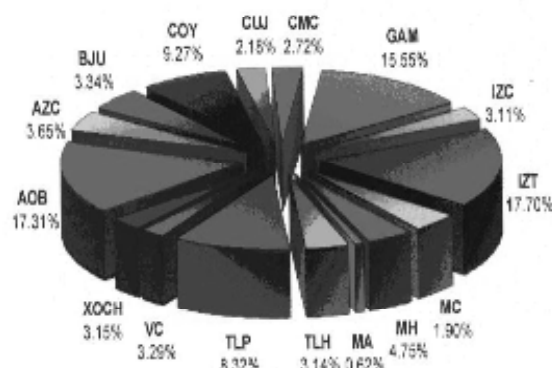


Fig. I.4.1

FUGAS DE AGUA POTABLE ELIMINADAS EN LA RED PRIMARIA Y SECUNDARIA*

TOTAL DE FUGAS ELIMINADAS EN 2007: 8,353

DELEGACIÓN	AÑO												
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Alvaro Obregón	4,568	5,578	6,200	5,618	5,225	3,485	2,857	3,555	4,468	4,853	4,756	3,688	1,448
Axapopetlaco	1,088	1,506	1,515	1,199	1,391	1,112	696	1,046	1,335	1,283	1,360	816	305
Bonito Juárez	821	1,061	1,591	759	715	765	489	512	564	810	1,427	1,246	279
Coyacán	1,871	2,408	2,521	1,359	2,730	2,341	1,883	2,030	2,443	2,426	2,355	2,236	774
Cuajimalpa	771	963	863	528	676	437	424	473	726	777	776	590	182
Cuachitlan	622	782	758	563	839	656	696	728	743	624	785	664	227
Gustavo A. Madero	4,056	6,664	6,915	6,875	6,464	3,697	2,920	3,755	3,999	3,203	4,118	3,648	1,295
Ixtapalapa	748	835	925	801	1,344	735	645	607	790	767	812	599	262
Iztapalapa	6,608	7,831	7,877	5,743	6,132	7,385	5,481	6,661	6,138	5,802	5,321	4,290	1,478
Magdalena Contreras	1,137	1,078	1,434	1,483	1,551	1,077	1,027	818	1,226	1,025	1,280	821	159
Miguel Hidalgo	1,299	1,297	1,258	1,177	1,600	1,388	1,137	1,226	1,129	1,139	1,265	1,323	397
Mixpa Alta	53	72	144	113	166	134	183	141		185	259	118	52
Náhuac	770	1,067	1,167	1,235	1,339	973	1,024	1,105	1,220	1,342	1,178	876	282
Tlalpán	5,976	6,530	6,484	6,341	3,148	2,189	2,056	2,162	3,138	3,235	3,084	2,191	693
Veracruz	1,115	1,679	1,616	948	944	1,153	712	555	723	546	863	479	275
Xochimilco	2,124	2,324	2,848	2,892	1,985	1,564	1,478	1,322	1,123	978	843	664	263
TOTAL	33,463	41,246	43,217	38,236	36,373	29,453	23,993	26,755	29,782	28,419	30,163	23,448	8,353



*Fuente:
Dirección de Verificación
y Coordinación
Delegacional SACM.
U. D. Centro de
Información



II. FUENTES DE ABASTECIMIENTO

La decisión de traer agua desde cuencas ubicadas fuera del Valle de México se debió en gran parte a los primeros impactos ocasionados por el hundimiento de la ciudad por la extracción de agua del subsuelo. El desmesurado crecimiento de la población durante los años treinta, hizo evidente que las fuentes subterráneas no serían suficientes para abastecer la demanda de miles de nuevos habitantes. Hay que recordar que la cuenca donde se asienta la ciudad de México y su área metropolitana, se encuentra rodeada de cinco cuencas, siendo las más cercanas la de Lerma y la de Cutzamala. Las otras tres son las de Amacuzac, la de Libres Oriental y la del Río Tecolutla. De todas ellas, las dos primeras resultaban más apropiadas en convertirse en las primeras aportantes de agua a la ciudad de México. Así fue, la de Lerma $6 \text{ m}^3/\text{s}$ (8.6% del total) y de Cutzamala $14.4 \text{ m}^3/\text{s}$ (21.3% del total). En resumen, se trata de $20.3 \text{ m}^3/\text{s}$ y 30% de todo el abastecimiento. El agua de ambos sistemas se conducen a la ciudad por medio de grandes acueductos de concreto.



II.1 Cutzamala

El agotamiento de los recursos hídricos de la cuenca de Lerma, los conflictos regionales y, sobre todo, los hundimientos progresivos del subsuelo de la ciudad de México por la extracción del agua, determinaron traerla de la segunda cuenca circundante: Cutzamala.

La palabra Cutzamala proviene del náhuatl y traducida al español significa "lugar de comadreas".

Frente a este problema, en 1972 la entonces Comisión de Aguas del Valle de México realizó estudios de las cuencas de Cutzamala, Libres-Oriental, Tula-Taxhimay, Alto y Bajo Tecolutla y Alto Amacuzac. Se determinó que la cuenca del río Cutzamala disponía de las mejores condiciones en cuanto a calidad del agua y caudales excedentes, y que sólo se requería realizar un cambio de uso de generación eléctrica a suministro de agua potable que no ocasionaría perjuicios a la región, pues se mantendrían reservas de 3,000 l/s para generación de energía eléctrica y una cantidad similar para atender demandas locales y futuros desarrollos.

En 1976 se inicia allí otra de las obras de abastecimiento hidráulico más impactantes del país: el aprovechamiento del agua almacenada en 8 presas localizadas en la cuenca alta del río citado, la mayoría empleadas anteriormente para la generación de electricidad construcción de un vaso regulador y un acueducto de 127 km, que incluye 19 km de túneles y 7.5 km de canales; construcción de una planta potabilizadora con capacidad instalada de 24 m³/s; seis plantas de bombeo para vencer el desnivel de 1,200 msnm.

El sistema Cutzamala fue planeado en varias etapas y se trata, como otras obras hidráulicas para abastecer la ciudad, de proyectos transexenales. Una de las mayores dificultades que se debía vencer no era tanto la distancia a cubrir para conducir el agua hasta la ciudad (alrededor de 130 km) sino que algunas presas se localizaban en cotas muy por abajo de ésta, lo cual implicó una considerable inversión para elevar el líquido por bombeo. La primera etapa de la obra consistió en tomar el agua de la presa Victoria y conducirla por un primer acueducto de 2.5 m de diámetro y 77 km de longitud, atravesando las sierras de Las Cruces, en el poniente de la ciudad. Fue inaugurada en 1982 y reportó inicialmente 4 m³/s (ver figura II.1.1 al final del capítulo).



PRIMERA ETAPA

En esta etapa, que inició su operación en 1982 aportando 4,000 l/s de la presa Villa Victoria, se construyó la Planta de Bombeo Número 5 que alberga seis conjuntos motor-bomba-válvula esférica de 4,000 l/s cada uno y tres equipos con capacidad unitaria de 1,700 l/s, para vencer una carga de 174 m, así como la subestación eléctrica que reduce la tensión de 115,000 a 13,800 V, que es la adecuada para sus equipos.

Para procesar las aguas provenientes de la presa Villa Victoria, que se conducen a través del canal Ing. Héctor Martínez de Meza, con longitud de 13 km, hasta la Planta Potabilizadora los Berros, se construyeron los siguientes dispositivos: 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 4 000 l/s; un laboratorio para realizar los análisis físico-químicos y bacteriológicos; el tanque de aguas claras con capacidad de 48,000 m³, que funciona como tanque de sumergencia para la Planta de Bombeo Número 5 y, por último, una torre de oscilación.

Ubicada en el punto más alto de la conducción, a 2,701.75 *msnm*, la torre de oscilación tiene un diámetro interior de 10 m y una altura de 52 m. A partir de dicha torre, el agua se conduce, por gravedad, hasta la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Igualmente se instalaron 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, de donde parte una conducción con tubería de concreto preesforzado de 2,50 m de diámetro, con capacidad para 12 000 L/s y longitud de 77 km, hasta la conexión con la línea de conducción del Ramal Norte del Sistema Lerma, en el sitio denominado Cruz de la Misión.

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

SEGUNDA ETAPA

Se puso en marcha en 1985 y consistió, básicamente, en el aprovechamiento de la presa Valle de Bravo, que proporciona un flujo volumétrico medio anual de 6 000 L /s. Además, se construyeron las plantas de bombeo números 2, 3 y 4, equipadas con tres conjuntos motor-bomba-válvula esférica, con capacidad unitaria de 4 000 l/s y motores con una potencia que llega a los 16,500 kW, para elevar el agua a una altura de 822 metros.



La infraestructura para la conducción del agua desde la presa Valle de Bravo hasta la Planta Potabilizadora **Los Berros**, tiene una longitud de 29 km y está constituida por una tubería de concreto preesforzado de 2.50 m de diámetro y tramos de acero con diámetros que fluctúan entre 1.83 y 3.17 m hasta la caja repartidora y el canal Donato Guerra, este último tiene una longitud de 7,50 km y es de sección trapezoidal revestida de concreto, con plantilla de 3,0 m de ancho y una profundidad de 3,0 m, con taludes 1.5:1.0 y pendiente de 0.0002.

Posteriormente, el agua pasa al túnel revestido de concreto Agua Escondida, con una longitud de 3.00 km y una sección de herradura de 3.85 m, con estructuras de control en sus portales de entrada y salida, continuando la conducción con dos tuberías de concreto hasta la Planta Potabilizadora **Los Berros**, en la que se construyeron dos módulos adicionales de potabilización con capacidad de 4,000 l/s cada uno.

Las plantas de bombeo 2, 3 y 4 cuentan con sus torres de *sumergencia* y de oscilación respectivas. La primera proporciona la carga y la cantidad de agua que necesitan los equipos para arrancar y 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 que requirió de un colado continuo. Su altura fluctúa entre los 32 y 51 m, con diámetros de 10 m; el espesor de las paredes llega a 1.60 metros.

Para operar estas macroplantas de bombeo, fue necesario construir las subestaciones eléctricas correspondientes, a fin de reducir la tensión de 115,000 a 13,800 V mediante dos transformadores en cada una de ellas. Las subestaciones cuentan con los accesorios necesarios para operar correctamente, así como con los sistemas de control y protección respectivos.

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 km de longitud, con un diámetro superior a los 4.50 m y capacidad para conducir hasta 34,000 l/s, 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 m las dos primeras y de 30 m 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**. Los volúmenes excavados superaron los 870,000 m³ y el volumen de concreto colado ascendió a 225,000 metros cúbicos.



TERCERA ETAPA

La tercera etapa comprende los subsistemas **Chilesdo** y Colorines, para un aprovechamiento de 9,000 l/s que, sumados a los 10,000 l/s de las primeras dos etapas, hacen un total de 19,000 litros por segundo.

El subsistema Chilesdo está en operación desde enero de 1993 y aporta 1,000 l/s, en promedio, y hasta 5,000 l/s en época de avenidas. Capta las aguas del río Malacatepec en la presa **Chilesdo**, que fue construida con una cortina de concreto de sección tipo gravedad, con altura máxima de 19.2 m y 44.2 m de longitud, con lo que se evita que las aguas escurran hasta la presa Colorines y se logra que se reduzcan los costos de operación, ya que la carga de bombeo de este punto a la planta potabilizadora es de 275 m, mientras que desde la presa Colorines es de 980 metros.

Para esta captación se construyó la Planta de Bombeo Número 6, que aloja tres conjuntos motor-bomba-válvula esférica con capacidad de 1,700 l/s cada uno; sus motores tienen una potencia total de 16,890 kW y una subestación eléctrica que reduce la tensión de 115,000 a 13,800 Voltios.

La conducción de esta planta de bombeo a la Planta Potabilizadora **Los Berros** tiene un desarrollo total de 15,261 km; el tramo de la obra de toma a la torre de *sumergencia* mide 718 m y está equipado con una tubería de acero de 1.52 m de diámetro, incluyendo el 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 m de diámetro, con una longitud de 83 m; de la Planta de Bombeo Número 6 a la estructura de oscilación, se colocó una tubería de acero de 1.67 m de diámetro y 2,460 m de longitud, siendo esta última la línea de alta presión; de la estructura de oscilación al punto de interconexión con el acueducto principal, se instalaron dos líneas de tubería de concreto preesforzado de 1.26 m de diámetro y 12,000 m de longitud cada una. La torre de *sumergencia* es una estructura cilíndrica de 6.0 m de diámetro interior, espesor en sus paredes de 0.45 m de concreto reforzado, colado continuo y una altura de 19 metros.

A diferencia de las otras plantas de bombeo, cuyas torres de oscilación son recipientes verticales y circulares de gran diámetro y altura, para la Planta de Bombeo Número 6 se aprovecharon las condiciones naturales del terreno y, a manera de cámara de oscilación, se derivó una tubería de concreto preesforzado de 2.50 m de diámetro y 270 metros de longitud, apoyándola sobre sus faldas del cerro alledaño hasta alcanzar la altura requerida.



El subsistema Colorines esta formado por las presas Tuxpan y el Bosque, localizadas en Michoacán, y la de Ixtapan del Oro, que se sitúa en el Estado de México. El agua proveniente de estas presas es captada en el vaso regulador Colorines, que suministra el Sistema 8,000 litros por segundo.

La obra de toma en la presa Colorines se construyó de concreto reforzado y se equipó, para su operación, con ocho compuertas deslizantes: cuatro para servicio y cuatro de emergencia.

La Planta de Bombeo Número 1 está constituida por una casa de máquinas con estructura metálica de 16 por 80 m y una altura de 18 m. En ella se instalaron cinco conjuntos motor-bomba-válvula esférica con potencia unitaria de 7,982 kW y flujos volumétricos de 4,000 l/s cada uno, para una capacidad total de 20,000 l/s, venciendo una carga de 157 m. Cuenta también con un modulo de controles y servicios de 5 por 26 m; su altura es de 13 m, en cuatro niveles.

La subestación eléctrica está diseñada, como todas las del sistema, para reducir la tensión de 115,000 a 13,800 V, mediante dos transformadores con la capacidad que requieren sus motores para operar.

De la obra de toma a la torre de *sumergencia* se instalaron dos líneas de tubería de concreto preesforzado de 2,50 m de diámetro y 297 m de longitud cada una. En la llegada a la torre se instalaron dos válvulas de mariposa de 2,50 m de diámetro, una en cada línea. De esta torre parte una tubería de acero de 2,90 m de diámetro y 150 m 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 m de diámetro y 2 000 m de longitud, cada una con su respectiva válvula de mariposa de 2,50 m de diámetro; estas dos líneas se conectan a la tubería de acero que sirve de salida al túnel El Durazno.

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 m de diámetro interior y tiene una altura de 20 m; el espesor de sus paredes es de 0.66 metros.

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 autonivelable para un colado continuo, desde su inicio hasta su terminación; tiene un diámetro interior de 10 m, espesor en sus paredes de 2.25 m y una altura de 62 m, que la distingue como la más grande y alta del Sistema.



La rampa de alta presión, que inicia en el múltiple de descarga de la planta de bombeo, consiste en una tubería de acero de 2.90 m de diámetro y 1 428 m de longitud hasta la torre de oscilación.

Como parte de la tercera etapa y con la finalidad de proporcionar seguridad y ampliar la capacidad inicial de conducción del Sistema, se instaló una línea de tubería paralela a la existente entre las plantas de bombeo 2, 3 y 4, llegando incluso hasta la caja distribuidora Donato Guerra; el diámetro de estas tuberías es de 2,50 m y su longitud es de 9,473 metros.

La derivación hacia las torres de sumergencia y de oscilación se llevó a cabo instalando tuberías con diámetros que varían de 1.33 m a 3.50 m y con una longitud de 2,693 metros.

Con la instalación de una tubería de concreto preesforzado con diámetro de 2,75 m y una longitud de 6,900 m, prácticamente paralela al canal Donato Guerra, se da seguridad a la conducción del agua y se permite el mantenimiento de este canal.

Una obra notable, creada con el objetivo de ampliar y proporcionar mayor seguridad a la conducción, fue la construcción de una segunda tubería de concreto preesforzado que se instaló enterrada desde la torre de oscilación de la Planta de Bombeo Número 5 hasta el túnel Analco-San José, con un diámetro de 2,50 m y 76 km de longitud. Destaca el cruce de la barranca denominado Los Berros, con tubería de acero enterrada de 2,50 m de diámetro y 210 m de longitud, así como los dos cruces aéreos sobre el río Lerma, con diámetro similar, salvando un claro de 30 m de longitud.

En la planta potabilizadora se construyeron el cuarto y quinto módulos para potabilizar 4,000 l/s cada uno, con lo que la capacidad total instalada de la misma llegó a 20 000 l/s. Con la construcción de un módulo más para el mismo flujo volumétrico, se completaría el proyecto y la planta se establecería como la mayor potabilizadora del país. A través de sus procesos de clarificación, filtración y desinfección, la planta garantiza el cumplimiento de la normatividad vigente para la calidad del agua potable establecida por el Sector Salud.

Otras obras proyectadas en esta etapa son:

- El vaso regulador Donato Guerra, con capacidad de 770 000 m³, garantizará el ahorro de energía eléctrica.
- La terminación del tanque de almacenamiento de agua potable Pericos con capacidad de 200,000 m³: Desde aquí se derivan, actualmente, 817 l/s de agua potable hasta la ciudad de Toluca
- Una segunda tubería de alta presión desde la Planta de Bombeo Número 5 a su torre de oscilación y la sobreelevación del canal Ing. Héctor Martínez de Meza, que va desde la presa Villa Victoria hasta la Planta Potabilizadora los Berros para incrementar su capacidad de conducción.



Con la infraestructura de estas tres etapas, el Sistema Cutzamala tiene capacidad para abastecer 19,000 l/s de agua potable al Distrito Federal y a los municipios conurbados del Estado de México.

La complejidad del Sistema Cutzamala representó grandes retos a nivel de proyecto, fabricación y construcción, pues no se contaba con experiencia previa en México en construcción de plantas de gran capacidad.

El esfuerzo realizado por el Gobierno, empresas constructoras, técnicos y obreros mexicanos, hizo posible esta magna obra de gran trascendencia y sentido social.

Su concepción, desarrollo técnico y realización, es un logro de la ingeniería mexicana.

CERTIFICACION ISO 9001:2000

Siguiendo la política del Gobierno Federal relativa al programa de Innovación y Calidad, el Sistema Cutzamala obtuvo en el mes de diciembre de 2003 la certificación bajo la norma Internacional ISO 9001:2000 del proceso de potabilización del agua cruda y un año después, en 2004 el de las fuentes de abastecimiento de agua cruda. Estas acreditaciones garantizan que ambos procesos se realizan bajo estándares internacionales de calidad para satisfacer las demandas de los usuarios.

Con la edificación de la planta potabilizadora y el acueducto central se crearon las condiciones para aumentar el abastecimiento con el líquido de las presas restantes. Los trabajos correspondientes comprenden la segunda y tercera etapa y concluyen en 1992. Se trata del periodo más difícil, pues implicó elevar el agua desde presas ubicadas en cotas muy bajas respecto a la planta potabilizadora. El líquido de una de ellas, (Colorines), es elevado 1,100 m, lo cual equivale a más de ocho veces la altura de la torre Latinoamericana. Esta presa, la más baja respecto al nivel de la ciudad, recibe aportes de las presas Tuxpan (muy cercana a Zitácuaro, Michoacán), Del Bosque, Ixtapan del Oro y Tilostoc. Una de las presas más importantes del sistema Cutzamala por su volumen de almacenamiento es Valle de Bravo (refiérase a figura II.1.2 al término de este apartado): alrededor de 394 millones de m³.

El volumen de agua almacenado en las presas del sistema suma entre 790 y 840 millones de m³, lo que representa las dos terceras partes de la capacidad de la presa Chicoasen, una de las más altas del país. El agua de las ocho presas del Cutzamala se eleva hasta la planta potabilizadora por medio de potentes bombas, equivalentes a la energía consumida por la ciudad de



Puebla. La distancia cubierta por los acueductos y las tuberías desde Cutzamala a la entrada de la capital del país, es de 127 km.

Con el crecimiento de la ciudad la prioridad fue encontrar agua. Se analizaron las cuencas cercanas de Lerma y Cutzamala. Se decidió construir una obra hidráulica magna para transferir el agua de la cuenca de Lerma cuyas lagunas se encontraban 300 metros arriba respecto al nivel de la ciudad.

El agotamiento de los recursos hídricos de la cuenca de Lerma, los conflictos regionales y los hundimientos progresivos del subsuelo de la ciudad de México por la extracción del agua, determinaron traerla de la cuenca de Cutzamala.

Esta obra – iniciada en 1980– implicó la construcción de 8 presas localizadas en la parte alta de la cuenca. Además de la dificultad de vencer las distancias de cerca de 130 km. hasta la ciudad, algunas presas se localizaban en cotas muy por debajo de esta, lo que implicó una considerable inversión para elevar el líquido por bombeo. La constante degradación del territorio ocasionada por políticas favorables al trasvase de la cuenca en detrimento de las cuestiones ambientales, sociales, culturales y económicas de los pueblos originarios y de las comunidades regionales, han generado numerosos problemas y resistencias campesinas cada vez más organizadas.

A lo largo de 25 años de operación, el Sistema Cutzamala ha venido cubriendo con óptima eficiencia el abastecimiento de agua potable para buena parte de la población de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Sistema Cutzamala, cuya primera etapa fue puesta en operación el 3 de mayo de 1982, con un caudal medio de 4 mil litros por segundo de agua potable.

Todas las fuentes acuíferas juntas eran ya insuficientes y eso llevó a tomar una vez más la decisión de traer el agua de sitios lejanos y con ello surgió la alternativa de la cuenca del Río Cutzamala, la cual se encuentra entre las sierras de Michoacán y la costa de Guerrero. Esta fue una obra ambiciosa, compleja y muy costosa que consta de un conjunto de presas llamadas: Villa Victoria, Valle de Bravo, Chilesdo y Colorines, que proporcionan una red de 350 kilómetros de acueductos de concreto de tres metros de diámetro que recorren 260 kilómetros de distancia entre la cuenca y la capital.

Para bombear esta agua desde su origen se utiliza la energía eléctrica como para iluminar cada día la ciudad de Puebla con sus más de 4 millones y medio de habitantes. En su trayecto existen plantas de bombeo para elevarla en donde sea necesario, casi al final el agua llega a la planta potabilizadora de Berros a 2,700 metros sobre el nivel del mar en donde se recibe y purifica el caudal y se manda por gravedad a Huixquilucan a través de dos tubos de concreto y un gran túnel, para posteriormente llegar a los tanques de almacenamiento.



El Cutzamala constituyó uno de los más grandes avances, sin embargo, como siempre resultaron afectadas extensas zonas agrícolas en donde se desarrollaba la actividad de miles de campesinos y ganaderos.

II.1.2 Los Berros

INTRODUCCION

La Planta Potabilizadora "Los Berros" que forma parte del Sistema Cutzamala, recibe los caudales captados por éste y permite que el agua suministrada a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, sea de alta calidad encontrándose dentro de las normas nacionales e internacionales de potabilidad.

El proyecto integral de esta planta, cuenta con un Tanque de Recepción de Aguas Crudas, 6 Canales Parshall; 6 Módulos de Potabilización; un Tanque de Recepción de Aguas Claras; un Edificio de Dosificación de Sulfato de Aluminio; una Planta de Cloración; un Sistema de Neutralización; un Sistema de Tratamiento de Lodos y un Laboratorio para análisis físico químicos y bacteriológicos, logrando con esto una capacidad para procesar hasta 24 m³/s.

PROCESO DE POTABILIZACIÓN

Filtración

El agua proveniente de las presas que integran el Sistema Cutzamala, llega a un tanque de concreto formado por dos cámaras, donde se mezclan las aguas crudas homogeneizándose su calidad. Este tanque tiene una capacidad para almacenar 6,450 m³

Del tanque de recepción, las aguas crudas se conducen a través de los Canales Parshall, donde se mide el caudal y se inicia el proceso de potabilización al adicionar sulfato de aluminio como coagulante y cloro para controlar el desarrollo de algas en las siguientes etapas del mismo.

Una vez que el agua ha pasado por medidores Parshall, se conduce hasta los 6 módulos de potabilización q tienen capacidad para 4 m³/s, cada uno, continuándose el proceso en sección de floculación, donde el agua se agita lentamente mediante paletas de eje horizontal instaladas en 4 tanques con capacidad de 7,730 m³ donde son accionadas por motores 10 y 20 hp.



Después de la sedimentación de lodos, el agua se conduce al área de filtración que consiste en 8 tanques con filtros de tasa constante y capacidad de 500 l/s, cada uno, conformados por lechos de grava y arena sílica con un fondo falso de losas con boquillas microrranuradas, por las que pasa el agua.

Posteriormente, a esta agua filtrada se le adiciona cal para neutralizar la corrosión propiciada por los coagulantes inicialmente suministrados.

Los lechos de grava y arena sílica se lavan periódicamente a través de una consola que acciona a control remoto la inyección de aire en la entrada y salida del agua utilizada para lavarlos.

La tasa de filtración es de $265 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ y el lecho filtrante de arena sílica es de 1.30 m de espesor.

Concluida la potabilización, el agua se conduce al tanque de recepción de aguas claras, con estructura de concreto reforzado dividida en 2 cámaras y con capacidad de $48,000 \text{ m}^3$, diseñado para funcionar como tanque de sumergencia de la planta de bombeo Núm. 5, de donde se envía el agua potabilizada hasta la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

La unidad de laboratorio, cuenta con los equipos y materiales necesarios para realizar los análisis físico-químicos y bacteriológicos que permitan determinar la calidad del agua que se entrega, cumpliendo con las normas dispuestas tanto nacional como internacionalmente en materia de agua potable. Para lograr lo anterior, cada 3 horas se efectúan muestreos con agua en las diferentes etapas del proceso, es decir: cruda, floculada, sedimentada y filtrada, obteniendo con ello plena seguridad en la calidad del agua potabilizada.

SEDIMENTACIÓN

Al terminar la floculación, el agua pasa a la sección de sedimentación integrada por 4 tanques con capacidad $1 \text{ m}^3/\text{s}$ cada uno, su estructura de concreto reforzado y reciben un volumen total de $17,590 \text{ m}^3$, están equipados con placas de asbesto-cemento separadas 5 cm una de otra e inclinadas 60 grados, éstas propician la precipitación de los grumos en suspensión para que se depositen en forma lodo en el fondo de los tanques, donde se extrae mediante un succionador suspendido de un flotador que recorre los tanques longitudinalmente y lo descarga a un canal lateral para finalmente llevarlo a la planta de tratamiento de lodos.

DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO

Edificio de dosificación Edificio que dispone de 9 tanques de fibra de vidrio con capacidad de 50,000 litros cada uno, de los cuales fluye por gravedad el



sulfato líquido a 4 tolvas de dilución para bombearlo a una torre de dosificación, desde donde se adiciona a cada canal Parshall la cantidad óptima ordenada por el laboratorio.

PLANTA DE COLORACIÓN

Está integrada por 8 evaporadores, 12 doradores con capacidad de 4,550 kg diarios cada uno, y 2 consolas de operación automática.

El proceso de dosificación inicia cuando el cloro líquido proveniente del edificio donde está almacenado, pasa a los evaporadores para convertirse en gas, después éste es dosificado por los coladores, para posteriormente inyectarlo a los canales Parshall a través de un difusor.

TRATAMIENTO DE LODOS

El agua desechada del lavado de filtros, así como los lodos extraídos de los sedimentadores, se conducen por gravedad a los concentradores, agregándoles anticipadamente polímero para acelerar su compactación; de aquí, el lodo se bombea a una presa para almacenarlo y el agua decantada se envía por bombeo a la entrada de la Planta Potabilizadora.

Con estas acciones se coadyuva a la conservación del ecosistema y se aprovechan al máximo los caudales captados para potabilizarlos.

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD

En el marco del Programa de Innovación y Calidad Gubernamental, la Comisión Nacional del Agua ha logrado avances notables a nivel central, regional y estatal, en la implantación de sistemas de Gestión de la Calidad con base en la norma ISO 9000 en diversos procesos técnicos y administrativos, con el fin de mejorar la calidad y la eficiencia de los servicios que presta a los usuarios y la sociedad en general. Dentro de los procesos Certificados con el ISO 9001 por el Instituto Mexicano de Normalización y Certificación A.C., destaca por su alto impacto económico y social el de potabilización del agua de la Planta "Los Berros" a cargo de la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala. La Certificación avala la calidad del agua y la operación de la Planta para proporcionar un servicio de primera necesidad a la población de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

La Planta Potabilizadora "Los Berros" con cinco módulos de potabilización y capacidad instalada de 20 m³/s, es una de las instalaciones más importantes del Sistema Cutzamala, integrado además, por siete presas de almacenamiento y derivación, un acueducto de 333 km que incluye de 44 km de túneles, 83 km de canales y 206 km de tuberías de concreto y acero y seis plantas de bombeo para vencer un desnivel de 1,100 m.



El Sistema de Gestión de la Calidad establecido en la Planta "Los Berros" ha propiciado un cambio notable, de mayor funcionalidad, orden y limpieza, en sus diversas instalaciones, además de la adecuada capacitación del personal operativo, factores que permiten garantizar la eficiencia en el proceso de potabilización.

La planta "Los Berros", es la más grande del mundo con proceso acelerado de potabilización, construida a una altura de 2,540 msnm. Desde el inicio de su operación, en mayo de 1982 a la fecha, el agua que procesa y suministra cumple con los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de calidad, establecidos por el Sector Salud. Opera las 24 horas de los 365 días del año y suministra un caudal promedio de 15 mil 500 l/s de agua a los organismos encargados de su distribución en el Distrito Federal, municipios conurbados del Estado de México y de la Ciudad de Toluca, en beneficio de más de 4 millones de habitantes.

La Planta Esta Integrada Por La Siguiete Infraestructura:

- Un tanque de recepción de aguas crudas
- Un almacén de cloro
- Una planta de coloración
- Dos edificios de almacenamiento y dosificación de sulfato de aluminio
- Área de canales Parshall (de medición o aforo)
- Cinco módulos de potabilización integrados con cuatro secciones de floculación, cuatro secciones de sedimentación y ocho filtros
- Un tanque de recepción de aguas claras
- Una estación de agua de servicios propios
- Un laboratorio de control de calidad
- Un tanque de agua de lavado de filtros
- Cuarto espesadores de lodos
- Una presa para disposición de lodos



Laboratorio De Control De Calidad:

En este laboratorio se realizan los análisis físicos, químicos y bacteriológicos del agua cada dos horas, determinando temperatura, turbiedad, color, acidez, alcalinidad, dureza total y cálcica, PH, cloro residual, olor y dosificación optima de reactivos. Además se verifica la ausencia de organismos patógenos en el agua potabilizada.

II.1.2 Chilesdo

Conforme a la política de construcción de para abastecimiento de agua potable que el Gobierno Federal lleva a cabo para atender los requerimientos de las grandes ciudades, especialmente de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, se han concluido los trabajos del subsistema Chilesdo, que conjuntamente con la captación en la Presa de Colorines, conforman la Tercera Etapa del Sistema Cutzamala, para aportar 9 m³/s.

Con el Subsistema Chilesdo, se aprovecharán las aguas del Río San José Malacatepec en 1 m³/s en promedio y hasta 5 m³/s en época de avenidas, reduciéndose con ello los costos de operación del Sistema, al evitar que esta agua escurran hasta la Presa Colorines cuya carga a la Planta Potabilizadora de Berros es de 980 m y de la Presa Chilesdo a la misma Planta es de Solamente 275 m.

DESCRIPCIÓN

El Subsistema Chilesdo está conformado por la infraestructura siguiente:

PRESA DERIVADORA "CHILESDO"

Con cortina de concreto de sección tipo gravedad, corona de 2.50 m de ancho, altura máxima de 14 m y 65 m de longitud total (18 m con sección vertedora de cresta libre); desarenador con compuerta radial de 3.50 m por 6 m que sirve además como obra de excedencia y obra de toma controlada con compuertas deslizantes; diseñada para un gasto máximo de 5.10 m³/s; cuenta también con un puente peatonal sobre la cortina.

Planta de Bombeo No. 6

Edificio de bombas con estructura metálica de 14 x 43 m y una altura de 17 m. adosado al edificio de controles y servicios de 6 m de ancho por 16 m de largo y 12 m de alto en cuatro niveles; asimismo cuenta con 3 equipos de bombeo, integrados cada uno por su bomba centrífuga horizontal con capacidad de 1.7 m³/s, contra una carga de 275 m acoplada a un motor eléctrico de 5,700 H.P. disponiendo así de una capacidad total de 17,100 H.P.; múltiples de succión y



descarga con sus respectivas válvulas de mariposa y esféricas. Esta equipada con una grúa viajera para 60 toneladas de carga.

CONDUCCIONES

De la obra de toma a la torre de sumergencia No. 6, se instaló tubería de acero de 1.52 m de diámetro y 700 m. de longitud total, incluyendo tubo puente sobre el Río San José Malacatepec. La conducción que llega hasta la estructura de incorporación del acueducto Cutzamala, consta de dos tuberías de concreto preesforzado con un tramo inicial de 1.37 m de diámetro y el resto de 1.07 m de diámetro cubriendo una longitud de 8,650 m cada una.

TORRE DE SUMERGENCIA NO. 6

Estructura cilíndrica de 6 m de diámetro interior y paredes de 0.45 m de espesor, de concreto reforzado, colado continuo, con altura de 19 m., una cimentación de 12.90 m. de diámetro y 1 m. de peralte.

ESTRUCTURA DE OSCILACIÓN

Compuesta por una línea de tubería de concreto preesforzado de 2.50 m. de diámetro y 270 m. de longitud a partir de la bifurcación a la línea de conducción, siguiendo la inclinación de la ladera.

RAMPAS

La de baja presión, es una tubería de acero de 1.52 m de diámetro y 83 m de longitud comprendida entre la bifurcación a la torre de sumergencia No. 6 y el múltiple de succión de la propia planta. La de alta presión, consta de tubería de acero de 1.73 m de diámetro y 2,399 m de longitud hasta la bifurcación a la tubería de conducción.

ESTRUCTURA DE INCORPORACIÓN

El caudal captado de la Presa Chilesdo, se incorpora al Sistema Cutzamala a través de esta estructura ubicada a 400 m del tanque de recepción de aguas crudas de la Planta Potabilizadora de Berros.

II.1.3 Temascaltepec

Se le conoce como la cuarta etapa del sistema Cutzamala. Se trata del más reciente programa para aumentar los caudales de agua destinada a una urbe que sigue creciendo. El proyecto es controvertido, como lo han sido todas las grandes obras hidráulicas para la ciudad. Consiste en ampliar en 5 m³/s la capacidad de abastecimiento, mediante la derivación de una parte del agua del río Temascaltepec para conducirla hasta la Presa Valle de Bravo. Dicha operación se haría construyendo una presa de 400 hectáreas, llamada el Tule



cerca al poblado de Temascaltepec. De ella se conduciría el líquido a través de un túnel, elevándolo aproximadamente 450 m hasta Valle de Bravo.

Al parecer, hubo originalmente un proyecto distinto a construir el túnel y la presa El Tule: el agua del río conduciría por tuberías superficiales y bombeada hasta la Valle de Bravo. Sin embargo, la opción actual causa gran malestar, protestas y franco rechazo de los campesinos de la región.

El túnel, de pendiente ascendente, se construirá barrenando el cerro El Maguey; tendría un diámetro de 3 metros y 11 km de largo hasta el pueblo de Zacazonapan. Los habitantes de San Pedro, comunidad del municipio de Temascaltepec, alegan que su construcción implicará la desecación de los manantiales, como El Naranjo, La Huerta, El Sombrero y El Chilar, y lo que afectará la productividad agrícola de la zona y las cosechas de maíz, caña, plátano, jitomate, melón y chícharo, que tienen su principal mercado en la ciudad de México y Toluca.

Los trabajos iniciales de exploración para la construcción del túnel, suprimieron o desviaron algunas corrientes subterráneas de veneros que alimentaban manantiales superficiales. Ello fue suficiente para generar un amplio movimiento social contra el proyecto, organizado por diversas agrupaciones civiles.

Para realizar el proyecto, las negociaciones entre la Comisión Nacional del Agua (CNA) y los pobladores de la región han transitado caminos abruptos. En febrero de 1996, se firma un acuerdo con la representación municipal de Temascaltepec que incluye algunas obras sociales en los poblados aledaños a cambio de permitir el aprovechamiento del caudal.

Los dirigentes sociales y campesinos, (según entrevistas del periódico universal) los lugareños están totalmente en contra de la obra. Mencionan que en sus reuniones han logrado concentrar hasta 5 mil personas pertenecientes a 105 pueblos aledaños al nevado de Toluca y a la zona de Calimaya. Relatan, además, los primeros enfrentamientos no violentos, pero sí muy tensos, con el personal de la CNA y los técnicos encargados de realizar las primeras perforaciones "prueba" del túnel. Estos encuentros, sostienen los campesinos, dieron los primeros frutos a su favor: el retiro de las máquinas perforadoras. En tal sentido, cabe señalar el papel desempeñado por las mujeres de la comunidad, las cuales resienten aun más la pérdida de un recurso tan valioso como el agua.

Aparte de los daños y efectos desfavorables en el medio que prevén los campesinos, existe otro aspecto que lleva al rechazo del proyecto: asociar la construcción de la nueva presa El Tule al propósito de establecer a su



alrededor una zona recreativa. Un clima más benigno (caluroso) respecto al de Valle de Bravo convertiría a la presa en un atractivo polo para la inversión inmobiliaria; los beneficios no serían precisamente para los pobladores.

La justificación oficial del proyecto en el sentido de que el agua del Temascaltepec "se va sin usarse directamente al mar", contrasta con la opinión de los campesinos. Estos aseguran que el caudal del río alimenta, superficial o en forma subterránea, la agricultura de las tierras aledañas. No se trata únicamente de la región alrededor de Temascaltepec, sino de los poblados ubicados en sus orillas en Guerrero y Michoacán. Todos se benefician del cauce descendente del río hasta desembocar en el Océano Pacífico. Es muy probable entonces que quienes habitan esos poblados se sumen a los demás que se oponen al proyecto por el daño que provocaría la disminución del caudal.

Al disminuir los recursos hídricos que sostienen la agricultura regional, los impactos en la actividad económica de sus habitantes serán muy negativos, tal y como sucedió en la cuenca de Lerma. En los poblados de la región es notoria ya la ausencia de la fuerza de trabajo masculina, e incluso femenina, que ha emigrado a Estados Unidos por la carencia de trabajo suficiente en el lugar. Por ello, los efectos del proyecto Temascaltepec deben evaluarse en una dimensión más amplia que la local. Algunas organizaciones campesinas opuestas al proyecto, principalmente el Comité para la Defensa de los Recursos Naturales del Xinantécatl (nevado de Toluca), han manifestado también su rechazo al intento de construir un club de sky en las faldas del nevado, aduciendo que se reducirían los caudales de agua allí existentes. Se trata de organizaciones campesinas con experiencia: históricamente la región se ha caracterizado por contar con habitantes combativos en la defensa de la tierra agrícola y forestal. Baste citar que en las faldas del nevado estuvo la hacienda La Gavia, sitiada en la época de la revolución por tropas zapatistas que ejercieron una influencia ideológica que llega hasta los actuales pobladores.

Por último, la presencia de una estrategia inmobiliaria privada en el proyecto Temascaltepec, por la venta de terrenos aledaños a la nueva presa El Tule, es otro aspecto fundamental. Los procesos de privatización del abastecimiento del agua se consignan en la nueva ley sobre la materia, aprobada por el Congreso en 1993. La inversión inicial de la obra estaría, así, apoyada por otras actividades que brindarían mayor rentabilidad a inversionistas privados. Por otra parte, es muy probable que las nuevas políticas de privatizar los servicios públicos, iniciadas con los cobros y distribución en algunas zonas del Distrito Federal, se extiendan a la infraestructura de abastecimiento, ahora todavía bajo la responsabilidad del gobierno. De concesionarse a la empresa privada la construcción del proyecto Temascaltepec y el abasto del agua,



seguramente se elevaría el precio del líquido que consumen los habitantes de la ciudad de México y área circundante.

Sin embargo, la reflexión crítica más importante respecto al proyecto parece estar fundamentada en evaluar seriamente los impactos ambientales, sociales y económicos regionales, y los elevados costos de la inversión para aumentar apenas 5 m³/s, cuando las fugas y desperdicios de los sistemas que abastecen a la capital se estiman, según los datos oficiales, de 12 a 15 m³/s.

II.2 Lerma

La Cuenca del Río Lerma, comprende la siguiente área geográfica 53,600 km²: el área de captación cuyo colector principal es el Río Lerma, incluyendo el lago de Chapala y las áreas de captación de otras corrientes que descargan directamente en él, hasta el sitio denominado cortina de Poncitlán, localizado sobre el tramo inicial del Río Santiago, a su salida del lago de Chapala. En su recorrido el Río Lerma atraviesa los estados de Querétaro, Michoacán y Jalisco el cual fluye de oriente a poniente, en la región sur, además en su tercio final constituye el límite *austral* de Guanajuato. Véase la figura al final del capítulo.

La Presa Solís, recibe las aguas del Río Lerma provenientes de la presa Tepuxtepec y de las subcuencas Atlacomulco - Paso de Ovejas, Río Tigre y Arroyo Tarandacuao, desde los límites con el Estado de Michoacán.

Aguas abajo de la Presa Solís, el Río Lerma recibe las aguas residuales, domésticas e industriales, provenientes del Corredor Industrial de la Cd. de Salamanca, así como, las aguas tratadas de la refinería de PEMEX que se encuentra en la zona, por la margen derecha recibe los escurrimientos de los Ríos Laja y Guanajuato controlados por las presas Ignacio Allende y La Purísima respectivamente, también recibe los escurrimientos libres de los Ríos Temascalio y Turbio.

La Cuenca directa del Río Lerma en lo correspondiente al tramo Presa Solís - Salamanca, está situada geográficamente entre los paralelos 20°00' y 20°35' Latitud Norte y los Meridianos 100° 32' y 101°10' Longitud Oeste, está delimitada al norte por la subcuenca del Río Laja, al sur con el Estado de Michoacán, al este con la subcuenca del Río Laja y los Estados de Querétaro y Michoacán y al oeste con el Estado de Michoacán.

Aguas arriba de la Presa Solís, se producen importantes escurrimientos que generan volúmenes con un promedio anual por arriba de los 1,000 millones de



metros cúbicos. Algo muy diferente ocurre aguas abajo, ya que el almacenamiento de este vaso modifica por completo el régimen del río, para adaptarse al de las necesidades principalmente agrícolas de toda la región del Bajío.

Este importante Río y las presas que alimenta, se encuentran monitoreados por estaciones hidrométricas y climatológicas a lo largo de su recorrido; esta información es recopilada por la Comisión Nacional del Agua, mediante sus Gerencias Estatales y Regionales, para después ser almacenada en una base de datos del Sistema de Información Hidroclimatológica (SIH). La Contabilidad Hidrológica que comprende la cuenca del Río Lerma, a continuación se mencionan: las cuencas pertenecientes a la Región Hidrológica y estas son:

Lerma Santiago: Río Lerma (Alzate), Río La Gavia (Ramírez), Río Jaltepec (Tepetitlán), Lerma (Tepuxtepec), Lerma (Solís), Río La Laja (Begoña), Río Querétaro (Ameche), Río La Laja (Pericos), Laguna de Yuriria, Lerma (Salamanca), Río Turbio (Adjuntas), Río Ángulo, Río Lerma (Corrales), Río Lerma (Yurécuaro), Río Duero, Río Zula y Río Lerma (Chapala).

PRESENCIA DE OBRAS DE REPRESAMIENTO POR SUBCUENCAS

La distribución de presas en las subcuencas de la cuenca Lerma-Chapala, es bastante heterogénea. Más del 50% del total de presas se concentra en cinco subcuencas, a saber: Solís (78 presas), Lerma (62 presas), Duero (54 presas), Tepuxtepec (49 presas) y Alto Lerma (43 presas). Mientras que algunas subcuencas, como Iztahuachaccolo y Yuriria no presenta ninguna presa. Aunque se realicen actividades extractivas de agua para el consumo o para el riego desde los lagos, para efectos de este estudio no se les está considerando como presas ya que su represamiento es natural.

Lerma-Santiago

La parte correspondiente a esta región es la más importante, no solo por representar 83% de la superficie estatal, sino por incluir un 98% de su población y prácticamente el total de la industria existente.

La principal corriente dentro de esta entidad es conocida como Río Lerma, que fluye de oriente a poniente en la región sur. Además, en su tercio final constituye el límite austral de esta entidad con el estado de Michoacán.

La región esta dividida en cuencas de las cuales seis incluyen porciones del estado.

Cuenca Río Lerma-Toluca

La zona abarca desde los límites con el estado de Michoacán hasta la presa Solís. Esta obra hidráulica es el embalse más importante del estado de Guanajuato.



Cuenca Río Lerma-Salamanca

Drena una superficie correspondiente a la zona centro y sur del estado. Tiene su origen en la presa Solís en donde recibe las aguas de las subcuenca Presa Solís-Salamanca y forma la conocida Bifurcación del Lerma; comprende además los afluentes del centro de la entidad, Salamanca-Río Angulo, arroyo Temazcatío y Río Guanajuato-Silao. Dentro de esta subcuenca se localizan dos de los cuatro almacenamientos más importantes del estado que son: la presa la Purísima y la presa La Gavia. Además recibe las aguas del Río Turbio-Presa Palote, Río Turbio-Manuel Doblado, donde se originan el cauce del Río Turbio y finalmente Río Turbio-Corrales. En esta área el Río Lerma recibe la corriente Arroyo Feo, que conduce aguas residuales de la zona urbana de la ciudad de Salamanca y aguas residuales industriales, que provienen del corredor industrial de esta localidad, así como la refinería de Pemex que se encuentra en la zona.

Cuenca Lago de Pátzcuaro-Cuitzeo-Yuriria

Se localiza en la parte sur del estado; recibe afluencias del lago de Pátzcuaro y de la laguna de Yuriria, los cuales están comunicados por medio de canales artificiales hasta desembocar en la corriente del Lerma.

Cuenca Río Lerma y Chapala

Comprende la porción sur oeste del estado; se inicia en la población de Villa Jiménez hasta los límites con el estado de Jalisco recibe las aguas de su único afluente en el estado de Guanajuato, el Río Angulo-Briseñas. En este tramo la calidad del agua no se ve alterada, debido a que no existe aporte de consideración de fuentes contaminantes. Tiene una área de 53,591 km² presenta un total de 552 presas y bordos, es decir una presa o bordo por cada 97.1 km²

Es indudable el papel que ha tenido la sobreexplotación de los acuíferos del Lerma en las severas alteraciones ecológicas de la cuenca. Entre otras, la pérdida de la fertilidad de los suelos y la transformación de los cultivos de riego en temporales. Todo ello ha modificado las formas de vida, el paisaje y la economía de los habitantes de la zona. La parte de la cuenca Río Lerma que se analiza, comprende los municipios de, Tarandacuao, Acámbaro, Santiago Maravatío, Tarimoro, Salvatierra, Jaral del Progreso, Yuriria, Uriangato y Moroleón, y en forma parcial los municipios de Jerécuaro, Celaya, Cortazar y Salamanca.

Según la subdivisión del país en Regiones Hidrológicas el Río Lerma, pertenece a la Región Hidrológica No. 12, del Sistema Lerma-Chapala-Santiago, que destaca entre ellas por sus impresionantes dimensiones



generales; corresponde a este sistema un recorrido a lo largo del colector general, desde los orígenes del Río Lerma hasta la desembocadura del Río Santiago en el Océano Pacífico de 1,163 km, y un área de cuenca total de 125,000 km² aproximadamente, de ellos corresponde el 37% a la cuenca del Lerma hasta su desembocadura en el Lago de Chapala y el 63% a la cuenca del Río Santiago. Explórese la cuenca de Lerma al final del capítulo.

REGÍMENES CLIMATOLÓGICOS

El clima predominante de la provincia es templado-subhúmedo con lluvias en el verano, hacia el poniente pasa a ser semicálido y hacia el norte semiseco, en las altas cumbres se dan climas semifríos subhúmedos y la vegetación característica dominante es la originada por la agricultura de temporal y riego. Favor de referirse a la imagen al termino del capítulo.

COLECTOR GENERAL DEL RÍO LERMA

La longitud aproximada del cauce del Río Lerma desde la Presa Solís hasta la Estación Salamanca es de 118 km, en éste recorrido el río tiene área de cuenca propia de aproximadamente 2,078 km², a la que se le agregan la Cuenca de la Laguna de Yuriria de 1,074 km², y la del Lago de Cuitzeo de 563 km², que forman parte del mismo sistema de escurrimientos generando un total de área de cuenca de 3,715 km², a lo largo de su recorrido el Río Lerma pasa cerca de algunas ciudades muy importantes tales como Acámbaro, Salvatierra, Valle de Santiago y Salamanca.

Si se toma en cuenta que el fondo del cauce en la cortina de la presa tiene una elevación de 1,850.00 *msnm* y que la altitud media del cauce a la altura de la Estación Salamanca es aproximadamente de 1,723.00 *msnm*, resulta que el desnivel entre esos puntos es de 127 metros y que la pendiente media del río es de 0.0007. Se puede observar en el perfil convencional del colector, que la pendiente media tiene un desnivel de cierta importancia entre Solís y Jaral del Progreso, Gto., punto en el que se inicia la región del Bajío, la cual termina aproximadamente 3 km , arriba de La Piedad, Michoacán.

Trayectoria. Aguas abajo de la Presa Solís, el río recorre aproximadamente 63 km, hacia el noroeste, donde sufre una bifurcación muy conocida (brazo izquierdo y brazo derecho), que se prolonga a lo largo de 20 km, hasta cerca del poblado El Cerrito, Gto, sitio en el que los dos brazos se reúnen y continúan rumbo a Salamanca con la misma dirección general noroeste. Todo éste recorrido que en línea recta es de 75 km, a lo largo del cauce, se convierte en 118 km.



Régimen. Aguas abajo de la Presa Solís (cuya capacidad total es de 798 millones de metros cúbicos), el régimen del Lerma se encuentra muy alterado por efectos de ese almacenamiento, ya que como se sabe el río cruza la Región del Bajío, ampliamente conocida como zona de importantes aprovechamientos agrícolas. Por lo tanto el Río Lerma queda, a partir de Solís, sujeto a demandas intensas que se desarrollan en diversas zonas de riego mediante obras de derivación y canales de suma importancia.

AFLUENTES PRINCIPALES DEL RÍO LERMA

Arroyo Acámbaro. Aguas abajo de la Presa Solís, se tiene que el primer afluente identificado del Lerma es el Arroyo Acámbaro, que entra al río por la margen izquierda, a la altura de la Ciudad de Acámbaro y entre las estaciones hidrométricas de Braniff (ya fuera de servicio) y Acámbaro, este arroyo fue entubado hace aproximadamente 10 años a su paso por la ciudad. La cuenca del arroyo es alargada en sentido sur a norte y tiene como afluente derecho al Arroyo del Moral; aproximadamente la mitad de su cuenca se encuentra en el Estado de Michoacán, la longitud de este arroyo hasta su desembocadura en el colector general es de 95 km².

Arroyo Hondo ó Arroyo Grande. En el trayecto de Acámbaro a Salvatierra el Río Lerma tiene algunas aportaciones intermitentes y poco cuantiosas de corrientes no identificadas, precisamente al entrar a Salvatierra la cuenca directa del colector general sufre un angostamiento muy importante, que reduce su anchura total a aproximadamente a unos 3 km, pero a la salida de éste angostamiento en un lugar llamado La Quemada situado a 10 km, aguas abajo de Salvatierra recibe un afluente derecho importante, llamado Arroyo Hondo ó Arroyo Grande el cual corre en dirección general de EW, describiendo una trayectoria que en línea recta llega a los 55 km. Su cuenca colinda por el sur con la cuenca de varios afluentes derechos del Río Lerma entre los que sobresalen el Río Tigre ó Coroneo. Por el norte colinda con la cuenca alta de algunos de formadores izquierdos del Río Laja.

El origen del arroyo se remonta a los límites de los Estados de Querétaro y Guanajuato, en el Cerro del Fresno, a 2,600 metros de altitud. En su recorrido pasa por la ciudad de Tarimoro, Gto., y cerca de su desembocadura en el Río Lerma es desviado hacia el sur por la presencia del Cerro Culiacán (2,834 msnm) que forma parte de su parteaguas occidental y su cuenca es considerable y llega a los 1,006 km².

Río Laja. Después de la entrada del Arroyo Grande, 12 km, aguas abajo se presenta la famosa bifurcación del Lerma, que se convierte así en dos corrientes a lo largo de 20 km, hasta que se reúnen en las cercanías de un



poblado llamado El Cerrito de Camargo que queda a 6 km, NNE de la cabecera municipal de Jaral del Progreso. Una vez que el colector general se convierte en uno sólo después; de un recorrido de 30 km , aguas abajo hasta un punto llamado El Ciprés, situado a 5 km, al SW de Salamanca, Gto., se presenta una nueva confluencia, la de su afluente más importante, llamado Río Laja (cuyas características son tratadas en el Plan de Emergencia correspondiente).

CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA

Registro de Estaciones Climatológicas e Hidroclimatológicas.- Las estaciones climatológicas que reportan a tiempo real son; Acámbaro, Tarimoro, El Cubo, Santa Rita, Jaral del Progreso, así como las de Solís, Salvatierra, Jerécuaro, Lomo de Toro, Yuriria y Salamanca.



Tab. II.2.1

PARÁMETROS DE ALERTAMIENTO, ESCALAS Y GASTOS MÁXIMOS DE ESTACIONES DE LA CUENCA DEL RÍO LERMA					
ESTACIÓN	CORRIENTE	MUNICIPIO	FECHA	REGISTROS MÁXIMOS	
				ESCALA (M)	GASTO (M ³ /S)
Acámbaro	Río Lerma	Acámbaro	Agosto de 1931	8.00	637
Solís	Río Lerma	Acámbaro	Octubre de 1941	7.95	880
Solís	Río Lerma	Acámbaro	Septiembre de 1958	7.32	785
Salamanca	Río Lerma	Salamanca	Septiembre de 1958	7.17	510
Salvatierra	Río Lerma	Salvatierra	Septiembre de 1971	10.85	465

FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA.

Tab. II.2.2

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE GASTOS				
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	E S T A C I O N E S (Q en m ³ /s)			
	SOLÍS	ACÁMBARO	SALVATIERRA	SALAMANCA
2	46.1	73.5	79.9	133.4
5	68.2	132.6	142.5	305.3
10	88.1	196.7	228	388.3
20	103.8	250.2	293.3	440.8
50	122.2	312.9	368.4	501.8
100	135.5	357.9	422.2	545.6
500	165.5	459.9	544.1	644.90
1000	178.4	503.5	596.3	687.5

FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA.



En 1929 se vislumbro la posibilidad de conducir el agua desde este río y sus manantiales. A fines de 1940 se iniciaron los estudios para determinar esa factibilidad. Dos años después se comenzó la portentosa obra hidráulica continental para, por vez primera en la historia, transferir el agua de una cuenca a otras a través de la ciudad de México. En efecto, la cuenca de Lerma es alimentada por su río con caudales provenientes de la sierra del Pacífico. Luego son introducidos a la ciudad para, finalmente, ser desalojados a las cuencas que alimentan los ríos Tula, Moctezuma y Pánuco y desembocar finalmente en el Golfo de México.

No fue tarea fácil construir el sistema Lerma. Durante diez años se realizó su primera etapa, consistente en captar las aguas superficiales de Almoloya del Río, Texcaltenango y Alta Empresa, en el estado de México. En esta etapa también se efectuaron las primeras captaciones de aguas subterráneas al perforarse 5 pozos de entre 50 y 308 metros de profundidad. La construcción del acueducto fue un reconocido aporte de la ingeniería hidráulica mexicana que cobro varias vidas humanas.

En 1951 entraron por primera vez a la ciudad de México las aguas de la región del Lerma cuyas lagunas se encontraban 300 metros arriba respecto al nivel de la ciudad. Esto fue posible a través de un tubo de 62 kilómetros de largo y 2.5 metros de diámetro. El acueducto atravesó la Sierra de Las Cruces por un túnel de 14 kilómetros llamado Atarasquillo-Dos Ríos. Se construyó un sistema de distribución y almacenamiento en la segunda sección del bosque de Chapultepec. Ahí, un depósito decorado como mural por Diego Rivera, canalizó el agua hacia 4 grandes depósitos de 100 metros de diámetro y 10 de profundidad, para ser distribuida por gravedad a la urbe. Al integrarse la cuenca de Lerma al sistema hidrológico del Valle de México, se aportaron inicialmente $4 \text{ m}^3/\text{s}$. Los beneficios por el aumento en el suministro fueron notables.

Una crisis de agua en la capital del país a mediados de los años sesenta obligó a extraer más del Lerma, agravando así la situación regional. En aquel entonces, la Secretaría de Recursos Hidráulicos y el Departamento del Distrito Federal inician los estudios para aumentar el caudal. Esta segunda etapa del sistema Lerma se llevó a cabo entre 1965 y 1975 poro medio de la construcción de 230 pozos; el área de extracción se extendió hacia la región de Ixtlahuaca y Jocotitlán. Con ello el suministro a la ciudad se elevó a $14 \text{ m}^3/\text{s}$. Este caudal se ha reducido a $6 \text{ m}^3/\text{s}$ por el grave deterioro de la zona debido a la severa explotación de sus mantos acuíferos.

Las relaciones de las autoridades del Distrito Federal con las del estado de México han estado marcadas en gran parte por los conflictos sociales a raíz de la operación del sistema Lerma. Garantizar los abastos del líquido a la capital, a pesar de la drástica disminución del caudal registrado en las últimas



décadas, ha obligado al DF y al gobierno federal a financiar la dotación de diversas obras en los pueblos de aquella región como una forma de compensar mínimamente, los daños que se le causan. Son particularmente notorios los conflictos suscitados por la sequía de 1973, lo que obligo a los campesinos a tomar el agua de los acueductos y pozos del Lerma disminuyendo, por ende, el abasto a la ciudad de México.

Es indudable el papel que ha tenido la sobreexplotación de los acuíferos del Lerma en las severas alteraciones ecológicas de la cuenca. Entre otras, la pérdida de la fertilidad de los suelos y la transformación de los cultivos de riego en temporales. Todo ello ha modificado las formas de vida, el paisaje y la economía de los habitantes de la zona.



II.3 Amacuzac

Para atender la demanda de agua potable en la entidad más poblada del país, en unos años, la Comisión del Agua del Estado de México tendrá que recurrir a fuentes remotas de Hidalgo o Morelos, pues el recurso que existe en la entidad sólo alcanza hasta 2020, advirtió el vocal ejecutivo, en la página Del Universal, de la CAEM, José Manuel Camacho Salmón.

En entrevista, al periódico El Universal, publicado en Internet el funcionario señaló que es indispensable un uso más eficiente de este recurso para que sea más duradero porque acudir a Tula, al sistema Amacuzac o a cualquier otra entidad además de problemático resultará más costoso para la comisión y los usuarios.

Enfatizó que en el cuidado de este recurso participan todos. Los usuarios evitando el desperdicio, las autoridades reparando fugas y el gobierno con la construcción de plantas de tratamiento que permitan intercambiar el agua de riego por líquido tratado.

El objetivo, dijo, es crear siete grandes plantas de tratamiento con capacidad de 35 metros cúbicos por segundo que se intercambiarían por agua de riego que se consume en el Valle de México.

El crecimiento poblacional obliga a incrementar el caudal de agua y a llevarlo, cada vez, a zonas más alejadas. Para este año esperan ofertar 42.3 metros cúbicos de agua por segundo, es decir, 2 metros más, ya que actualmente entregan 40.3 metros cúbicos por segundo en toda la entidad.

De este recurso, 32.7 por ciento proviene de fuentes federales, 5.36 por ciento de fuentes estatales, 56.5 de municipales y el resto de particulares. 15 de cada 100 litros provienen de fuentes superficiales y los otros 85 de subterráneas.

En el Valle de México lo que se requiere es construir plantas de tratamiento que están inscritas dentro del proyecto de saneamiento del valle de México, están la planta de Berriozabal, la de Zumpango, la del Salto, estamos hablando de cerca de 40 metros cúbicos por segundo que se dice fácil pero que representa intercambiar agua de riego de los distritos Chiconaulta y recargar el acuífero más explotado que es el del Valle de México.

Estaríamos intercambiando 40 mil litros de agua por segundo y llegando a un punto de equilibrio en el acuífero del valle de México que tiene una sobreexplotación de 600 a 800 por ciento.



Actualmente en la zona conurbada al Distrito Federal se tratan a través de plantas particulares cerca de mil 500 litros por segundo que no es equiparable a los 40 mil litros por segundo de este proyecto, concluyó.

Repercusiones

El problema del agua en el estado de México toma especial relevancia para los habitantes del DF, pues habrá que recordar que una de las más importantes fuentes de abastecimiento para la capital es, precisamente, aquella entidad.

Las soluciones consideradas como más viables para hacer frente a este problema representan no sólo cantidades multimillonarias de dinero sino programas sociales que incluyan el uso eficiente del agua para evitar que se siga desperdiciando.

Los recursos hidrológicos del municipio de Amacuzac, se componen básicamente por el río Salado; que pasa por Casahuatlán y Coahuixtla. El municipio es cruzado en su parte media por el río Amacuzac y es alimentado por las corrientes de la barranca de Xoapa, sobre todo en la época de lluvias, la cual nace en el municipio de Tetecala de la Reforma.

El río Amacuzac, nace en el poblado de Cacahuamilpa, Guerrero, de la unión del río Chontacoatlán y el río San Jerónimo, a partir de esta unión de dichos ríos, toma el nombre del río Amacuzac con una distancia de aproximadamente 80 kilómetros de longitud, al salir del municipio se interna a Puente de Ixtla por los ríos Chalma y Tembembe y se une a otros ríos para alimentar al río Mezcala y formar el río Balsas.

En el municipio de Amacuzac se cuenta con una presa de suma importancia, ubicada en la localidad de Rancho Nuevo, con una capacidad de almacenamiento de 2 millones de metros cúbicos de agua aproximadamente.

El clima predominante en este municipio, facilita una gran actividad agrícola, que constituye un soporte básico de su desarrollo en cultivos como caña de azúcar, maíz, sorgo y hortalizas, que demandan fuertes consumos de agua, la disponibilidad de agua es a través de la derivación de los Ríos Chalma y Amacuzac, los cuales se han visto limitados por la contaminación de sus corrientes.

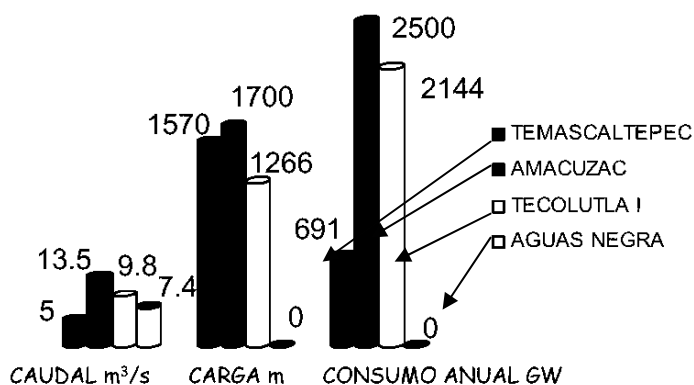
La infraestructura hidroagrícola; la mayoría de los canales primarios y secundarios se alojan en tierra y no cuentan con infraestructura de control de aforo y a nivel parcelario no utilizan métodos modernos de ahorro de agua. Ante la pérdida de agua por la infiltración en la infraestructura, se hace necesario la construcción de la línea de conducción "La Calera" y el revestimiento de los canales Tepopula y el canal "Miahuatlán".



Asimismo se requiere adoptar tecnologías más eficientes y de bajo consumo de agua a nivel parcelario, utilizando los sistemas de riego presurizado, por goteo y aspersión.

Otra fuente de abastecimiento es sin duda **Tecolutla** con $9.8 \text{ m}^3/\text{s}$, emplea las instalaciones del sistema hidroeléctrico Necaxa. El sistema, construido en dos etapas, necesita de bombeo para vencer una carga de 1266 m y una distancia de 143 km.

PROYECTOS DE CNA



Como se puede ver en la figura el primero en todos los casos es de Aguas Negras, el segundo Tecolutla, el tercero Amacuzac y el cuarto y último es Temascaltepec.

Tab II.2.3 Consumo de energía en fuentes futuras de suministro	
TEMASCALTEPEC	2.99
AMACUZAC	4.01
TECOLUTLA	4.74
TEZONTEPEC	0.71
AGUAS NEGRAS	0.00

Siendo el Tecolutla un afluente que no está operando, en dado de hacerlo pasaría por Puebla, Tlaxcala y el Edo. Mex. y se tendría que dar también de agua a estos estados y saldría desfavorable.



II.4 Pozos Urbanos

De los pozos ubicados en el Valle de México se extraen ahora 46 m³/s, lo que representa el 68% del total. El abastecimiento se hace mediante la operación de 2,746 pozos. Hay que agregar, además, parte de los suministros provenientes de la región de Tizayuca-Pachuca para surtir con 2.4 m³/s los poblados urbanos situados en aquella región. Esta es su historia.

A partir de la segunda mitad del siglo XIX, parte del abastecimiento de agua fue resuelto por medio de pozos artesianos, lo cual provocó los primeros impactos del hundimiento de la ciudad: 5 centímetros por año, registrado entre 1861 y 1895.

En 1902 se iniciaron estudios para determinar la conveniencia de explotar mediante pozos los manantiales de Xochimilco. A partir de 1909 el agua se condujo desde ahí hasta los tanques ubicados en la Loma de Molino del Rey, a 26 kilómetros de distancia. Para ello se construyó un pozo de 9 metros de profundidad y se instalaron varias bombas con el fin de introducir el agua hasta un acueducto de concreto para conducirla hasta la estación de bombeo, ubicada en la colonia Condesa. De aquí se elevó a dichos tanques para después distribuirla a la ciudad. Así, en 1912 se comenzaron a bombear y conducir a la ciudad las aguas de Nativitas, Santa Cruz y la Noria, suprimiendo definitivamente las provenientes de Chapultepec, el Desierto de los Leones y el río Hondo, que para entonces presentaban ya rasgos visibles de contaminación.

Durante los difíciles tiempos de la revolución y hasta 1924, el abastecimiento de agua de las regiones del sur tuvo infinidad de desequilibrios. En largas temporadas era común el desabasto durante el día. Hacia 1927 se construyeron más pozos artesianos con bombas de mayor capacidad ubicados en los manantiales de San Luis Tlaxialtemalco resolviendo así las demandas de agua.

Fue hasta 1936 cuando se vuelven a advertir deficiencias en las fuentes de abastecimiento; la población había aumentado en forma considerable hasta rebasar el millón de habitantes. Durante ese año se perforaron los primeros 18 pozos profundos, de entre 100 y 200 metros, lo que marcó el inicio de la explotación intensiva del acuífero. De 1936 a 1944 se perforaron 93 pozos en el centro y en la periferia 93. Tal extracción de agua provocó hundimientos en el centro a razón de: 16 centímetros por año. El más drástico ocurrió entre 1948 y 1952; precisamente en 1951 la ciudad se hundió en promedio 46 centímetros.



En 1947 el doctor Nabor Carrillo demostró que la ciudad de México se hundía por la extracción de agua del acuífero, calculada en 7.2 metros cúbicos por segundo. Sus investigaciones fueron determinantes para imponer la veda sobre la explotación de los acuíferos en el centro. A partir de entonces los nuevos pozos se hicieron en el sur, principalmente en Chalco y Xochimilco; los más antiguos fueron reemplazados por otros cuya profundidad fue ya de 400 metros.

Como parte de los incrementos en el volumen de agua abastecida, en 1956 se concluyó el sistema de pozos Chiconautla, ubicados al norte de la ciudad; 40 de ellos se perforaron con una profundidad media de 150 metros. En 1964 la población del Distrito Federal era de 5.8 millones con un abastecimiento de 22.2 metros cúbicos por segundo. La política de explotar más el subsuelo continuó a pesar de contar ya con el abastecimiento externo de Lerma: obtener más agua mediante la extracción del líquido en el Valle, pospuso acciones más enérgicas para tratar de crear una conciencia sobre el uso racional del agua y evitar fugas en las redes de distribución, detectadas desde entonces.

Desde 1964 y hasta 1975, se incrementaron los caudales con la perforación de 50 pozos profundos más en Xochimilco, Tláhuac y Ciudad Netzahualcoyotl, así como en la zona norte, en los Reyes y Teoloyucan. Con todos ellos se logró aumentar el caudal a 9.5 metros cúbicos por segundo para entonces el agua disponible para consumo humano, la industria y los servicios ascendía a 32 metros cúbicos por segundo y era consumida también por la población de los municipios conurbados del estado de México y que, sumada a la del Distrito Federal, sumaba 11 millones de habitantes.

En las décadas de los ochenta y noventa, nuevos crecimientos de la ciudad y su zona metropolitana implicaron aumentar los abastecimientos. A partir de 1980 se logró, por fin, disminuir relativamente la extracción de agua del subsuelo, gracias al abastecimiento externo del Sistema Cutzamala. Pero como la población siguió aumentando, fue necesario incrementar los volúmenes de líquido. En 1994 se alcanzó el promedio más elevado de consumo por habitante: 337 litros. En los últimos tres años, los programas de ahorro de agua han disminuido en forma poco significativa.



PRIMERA ETAPA SISTEMA CUTZAMALA

Fig. II.1.1



Fig. II.1.2

Tubería de baja presión que inicia en el tanque de sumergencia y alimenta la Planta de Bombeo Número 5.





II.1.3



A través del canal Ing. Héctor Martínez de Meza se conduce el agua de la presa Villa Victoria a la Planta Potabilizadora los Berros.

II.1.4



La subestación eléctrica Donato Guerra es la obra electromecánica para la operación de todo el Sistema Cutzamala.

II.1.5

Tanque de recepción de aguas crudas.





SEGUNDA ETAPA SISTEMA CUTZAMALA

II.1.6

Planta de Bombeo Número 2. A la derecha se ubica la subestación eléc





II.1.7

Entrada al túnel Agua Escondida.





II.1.8

Planta de Bombeo Número 3.
A la derecha se aprecia su torre de
sumergencia.



II.1.9





TERCERA ETAPA SISTEMA CUTZAMALA

II.1.10

La presa Chilesdo fue construida con una cortina de concreto de sección tipo gravedad con altura de 19,2 m y 44,2 m de longitud.



II.1.11

Planta de Bombeo Número 6





II.1.12



Cruce del río Lerma.



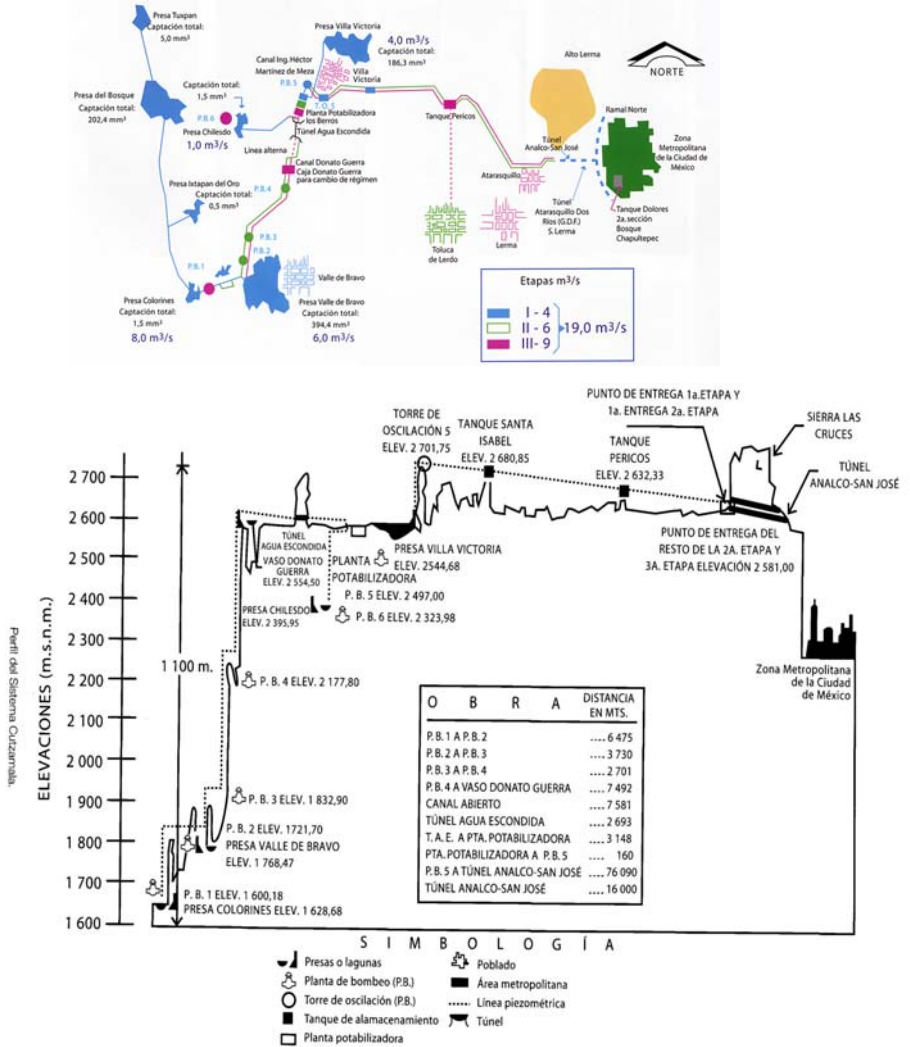
II.1.13

Cruce de la barranca Los Berros.





II.1.14 SISTEMA CUTZAMALA (PLANTA Y PERFIL)





Certificación ISO 9001:2000

Certificado

El Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, A. C.

Miguel María Contreras 123, sexta piso, colonia Cuauhtémoc, delegación Cuauhtémoc, 06100, México, Distrito Federal, Estados Unidos Mexicanos.

Organismo de certificación de sistemas de gestión de la calidad acreditado por la entidad mexicana de acreditación, A. C.



**Instituto Mexicano
de Normalización y
Certificación A.C.**

Certifica a:

**Comisión Nacional del Agua
Gerencia Regional de Aguas del Valle de México
y Sistema Cutzamala (GRAVAMEXSC)**

**Km 54.5 de la carretera Toluca los Berros
Municipio de Villa de Allende, Estado de México
Estados Unidos Mexicanos**

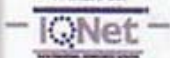
Por haber implementado y mantener un sistema de gestión de la calidad de conformidad con :

**ISO 9001:2000
COPANT / ISO 9001-2000
NMX-CC-9001-IMNC-2000
Sistemas de gestión de la calidad—Requisitos.**

Alcance de la Certificación:

- Potabilización de agua en la planta "Los Berros" del Sistema Cutzamala, desde la recepción del agua cruda (en la planta), hasta el tanque de agua clara (antes del bombeo de agua potabilizada).
- Fuentes de abastecimiento de agua cruda (presas).

Miembro de:



Acreditado por
un miembro del
IAF MLA
para QMS.



Mercedes Irueste A.
Dra. Mercedes IRUESTE ALEJANDRE
Dirección General.

RSGC 138

Sector NACE: 27

Número de acreditación 04/02
Vigencia de acreditación 2006/06/27

Fecha de Inicio: 2003.12.13

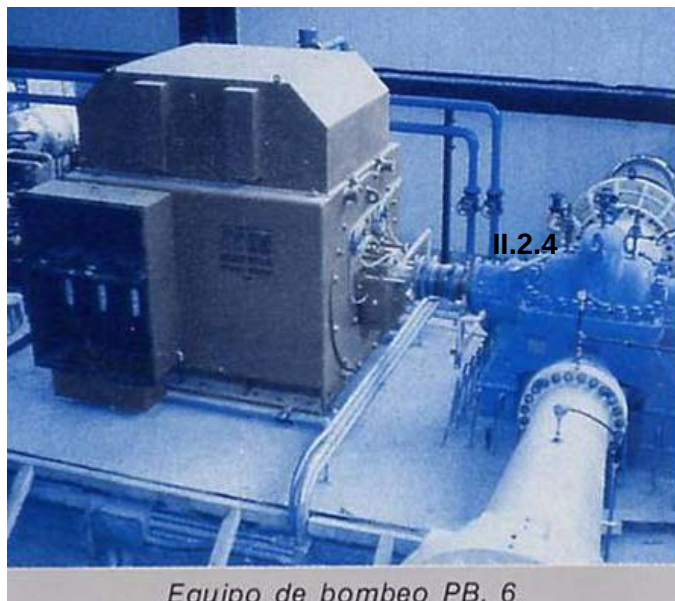
Fecha de Terminación: 2006.12.13

ISO 9001 : 2000



II.2.3

Subestación eléctrica

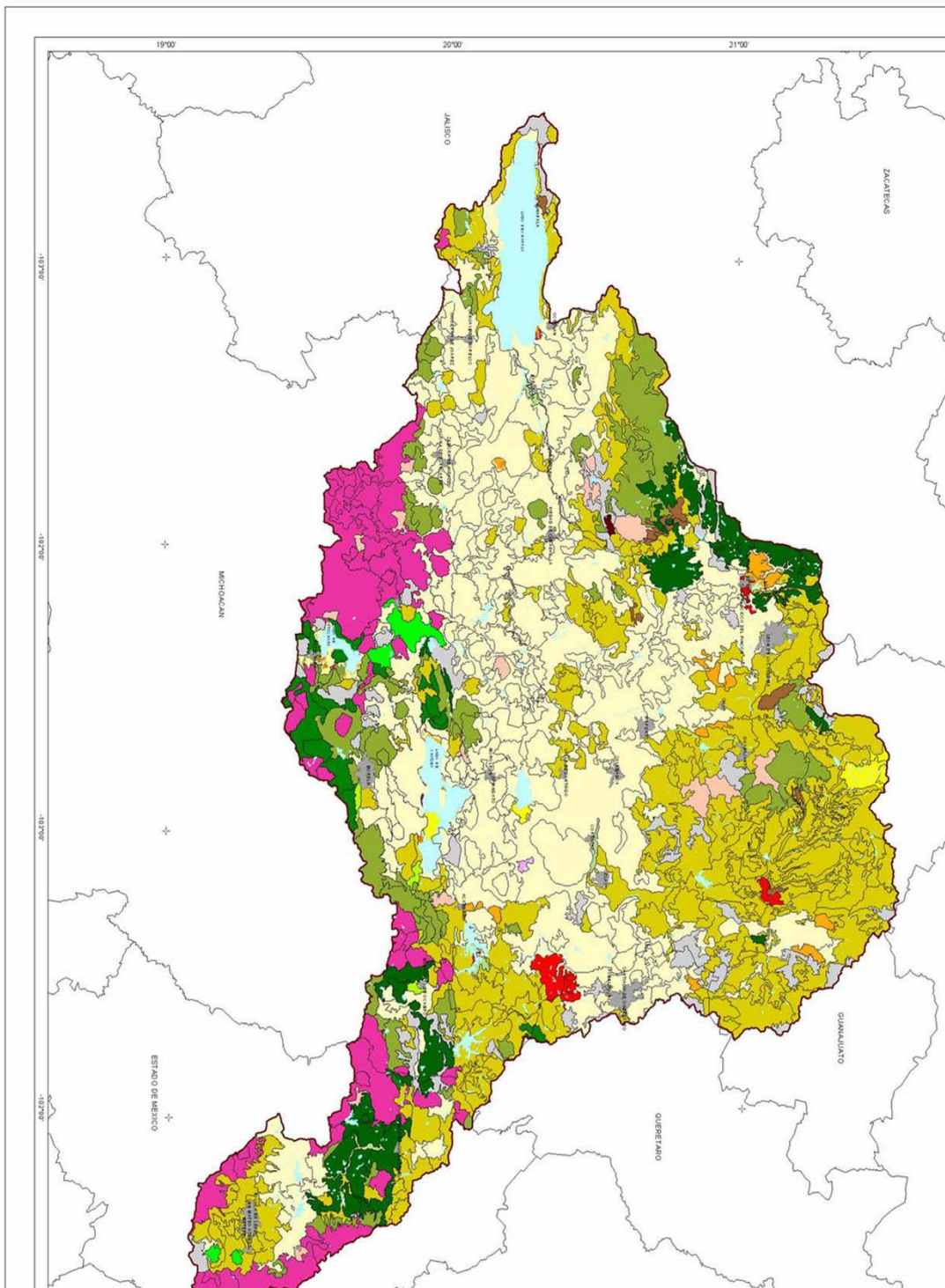


II.2.4

Equipo de bombeo PB. 6



Fig. II.2.4 Tipos de Suelos en la Cuenca de Lerma





AMACUZAC

II.3.1 LOCALIZACIÓN





Fig. II.5.1 POZOS

POZOS A CARGO DEL SACM			
	SISTEMA	TOTAL	EN FUERA DE OPERACIÓN OPERACIÓN
Lerma *	Acueductos	264	225
	A pueblos	39	39
	Riego	92	
	Subtotal	395	
Valle de México	Chiconahuatl	44	29
	Centro	75	60
	Norte	37	27
	Oriente	82	46
	Poniente	27	11
	Sur	315	231
	Subtotal		629
	Total	976	845

*Fuente:
Dirección de
Agua Potable y
Potabilización,
Dirección
Ejecutiva de
Operación.
SACM.

- (a) Se considera como red primaria aquella cuyo diámetro varía de 0.50 a 1.83 metros.
(b) Se considera como red secundaria aquella cuyo diámetro es menor a 0.50 metros.
(c) La capacidad conjunta de los tanques es de 1'749,207 metros cúbicos.

Nota:

- (*) Son las líneas que conducen el agua potable desde la zona de captación hasta los tanques de almacenamiento y red primaria, y su diámetro oscila entre 0.50 y 1.83 metros.

* No se contabilizan los pozos de riego y a pueblos.



III ACUAFÉRICO

La estrategia para distribuir el agua ha consistido invariablemente en conducirla hasta las partes más altas utilizando los cerros citadinos circundantes. Sin embargo, los depósitos construidos en esos lugares han sido detonadores de la urbanización a su alrededor. No es aventurado decir que el almacenamiento de agua del sistema distribuidor poniente del Lerma provocó a partir de la década de 1970 las urbanizaciones legales e ilegales de la zona surponiente de la ciudad.

Debido a esta problemática se optó por construir un sistema que condujera Agua Potable a la ciudad de México, ya se optó por el **Acuaférico** que como su nombre lo indica va a rodear una superficie de la ciudad de México.

III.1 Trazo

En un principio se proyectaron 5 etapas, para que cubriera solo la parte sur de la ZMCM, se uniera con el Macrocircuito, y este cerrara el circuito con las veredas al final del capítulo.

Se procedió a hacer el levantamiento topográfico de la zona, el cual contempló trabajos de Planimetría y Altimetría, incluyendo tres secciones de la barranca a donde se decidió descargar.

El **Acuaférico**, lo componen 4 túneles de 4 m de diámetro y tres sifones, con dos tuberías de 2.50 m de diámetro cada una.

A la salida de cada túnel, está diseñada una estructura de derivación de gastos, la cual cuenta con 3 salidas, de las cuales una de ellas trabaja exclusivamente como desfogue, para casos de Emergencia.

Dentro de todo el proyecto original, no se contempló el proyecto completo del desfogue hasta su descarga a las barrancas o ríos existentes.

Se procedió a hacer el levantamiento topográfico de la zona, el cual contempló trabajos de Planimetría y Altimetría, incluyendo tres secciones de la barranca a donde se decidió descargar.

Para el diseño de la línea se consideró la capacidad máxima de desfogue de la estructura, la cual resultó de $5.30 \text{ m}^3/\text{s}$.



El fondo de la barranca se encuentra a una profundidad aproximada de 14 m, con la cual, si se utilizaba únicamente tubería para llegar hasta, este nivel, se provocaban excavaciones muy fuertes y velocidades mayores a los 25 m/s .

Por tal motivo, se optó por utilizar un tramo de tubería con pendiente suave y posteriormente descargar a cielo abierto en un canal muy ancho, a fin de reducir a niveles razonables esta velocidad.

El canal descargara en un pequeño tanque amortiguador con objeto de absorber la fuerza del agua debida a la velocidad de la misma, y evitar de alguna manera posibles socavaciones.

Se recomienda que este tanque se mantenga limpio y en buenas condiciones con el fin de que cuando tenga que desfoguearse por alguna emergencia, este pueda realizar su función lo mejor posible.

El tramo de tubería se diseño en acero, tomando en cuenta que es un tramo pequeño y que puede ser paso de equipo pesado, como son grúas, para dar mantenimiento a las compuertas de la Estructura Derivadoras de Gastos.

El control del gasto que se le introduce al Acuífero se tiene a la salida del túnel Analco - San José, después de la bifurcación San José donde se divide el Sistema, Cutzamala en la rama norte y la rama sur, siendo esta última la que da origen al Acuífero, y a partir del gasto que se le introduce al sistema se efectúa la distribución del mismo a cada una de las líneas del poniente que se encuentran conectadas a lo largo del recorrido del Acueducto Perimetral.

En la Subdirección de Agua Potable se lleva un registro diario de los caudales que se derivan en cada una de las estructuras existentes hacia las líneas del poniente y como es su distribución espacial y de acuerdo al personal técnico de ésta subdirección los gastos registrados son aproximados ya que no se cuenta con una medición directa y la distribución que se proporciona a las líneas del poniente está en función de la apreciación de los operadores en cuanto a la cantidad de agua que consideran necesita cada línea, por lo que es poco eficiente el manejo de agua en esta conducción. En la **tabla III.2.1** se muestran los gastos que se manejan en el Acuífero y en cada una de sus derivaciones.



Tab. III.2.1 GASTOS MANEJADOS ACTUALMENTE EN EL ACUAFÉRICO		
Derivación	Zona que Abastece	Gasto (m³/s)
El Cartero	Dolores (existente)	2.400
Villa Verdún	no opera	0.000
Primavera	Primavera (proyecto)	0.500
Hipocampo	no opera	0.000
San Francisco Tlanepantla	San Francisco (proyecto)	0.100
Trifurcación	Zona que Abastece	Gasto (m³/s)
Santa Lucía	Santa Lucía (existente)	0.000
Plateros	no opera	0.000
El Judío	Torres 4 (existente)	1.035
Río Magdalena	Picacho (existente)	0.450
	SUMA TOTAL	4.485

El suministro de agua potable a las distintas líneas que abastece el Acuaférico, se da en algunos casos a través de estructuras especiales denominadas trifurcaciones estas, estructuras se localizan en las barrancas que debe de cruzar el túnel y consisten en cuatro tuberías, de las cuales las dos centrales conforman el sifón con el que se libra la barranca, una lateral sirve para desfogue y la otra lateral es por donde se alimenta a las líneas del poniente que conducen el agua hasta la zona central de la ciudad. Las trifurcaciones operando son Santa Lucía, El Judío, y Río Magdalena.

El otro tipo de estructura para enviar agua a las líneas de poniente son las llamadas derivaciones que consisten en una bifurcación del túnel principal a partir del cual se deriva otro túnel que llega hasta una caja de control en la que se realiza la transición de túnel, la tubería de la línea es de menor diámetro y generalmente después de la caja cuenta con una válvula de mariposa para controlar el gasto que se envía por la línea, la planta y el corte que muestra la salida del túnel. Las derivaciones-operando son El Cartero, Primavera, Hipocampo y San Francisco Tlanepantla.

Como anteriormente se ha mencionado el control que existe en las derivaciones hacia las líneas del poniente es nulo o poco eficiente, por lo que para enviar realmente el agua que requiere cada línea es indispensable contar con parámetros que faciliten ésta labor a los operadores, para lograr tal cometido se consideró necesario diseñar alguna herramienta que permitiese saber la cantidad de agua que se deriva en función de los tirantes que se tienen antes y después de las compuertas de cada trifurcación, ya que éste un factor fácilmente medible por los operadores.



De acuerdo a estudios previos realizados por la DGCOH, se analizaron siete líneas del poniente que se alimentan del agua en bloque que conducen los acueductos Lerma Norte, Lerma Sur y Acuaférico, a partir del estudio mencionado se definieron las áreas de influencia de cada una de las líneas analizadas, estas áreas se pueden observar en el plano llamado "Áreas de influencia Líneas del Poniente", una vez definidas las áreas de influencia de las líneas mencionadas se determinó el gasto que requería cada una de ellas, estos gastos se muestran en la siguiente tabla:

Tab. III.2.2 GASTOS A DERIVAR POR EL ACUAFÉRICO		
Derivación	Zona que Abastece	Gasto (m³/s)
El Cartero	Dolores	1.807
Primavera	Primavera	1.774
Hipocampo	San Andres Totoltepec	0.132
San Francisco Tlanepantla	San Francisco	1.754
Trifurcación	Zona que Abastece	Gasto (m³/s)
Santa Lucía	Sante Lucía	3.075
El Judío	Torres 4	0.757
Río Magdalena	Picacho	0.809
	SUMA TOTAL	10.108

Es importante mencionar que los gastos medios anteriores además de involucrar a la parte poniente y centro del Distrito Federal, también están considerando la posibilidad de llevar más agua a la zona oriente de la ciudad por las líneas existentes mencionadas y en el caso de las líneas Primavera y San Francisco que son líneas de proyecto, es necesaria su construcción y puesta en operación para aprovechar adecuadamente la capacidad y alcance geográfico con que cuenta actualmente el Acuaférico y mediante el cual se subsanaría en cierta medida el déficit que se tiene al oriente de la ciudad.



III.2 ESTADO ACTUAL

A partir del análisis de gastos efectuado en el capítulo anterior, se procedió a realizar simulaciones que se consideraron necesarias con el fin de reproducir por un lado las condiciones actualmente existentes en el Acuaférico (Condición Actual) y por otro las que se tendrían de acuerdo a los gastos deseables en cada derivación para contar con un manejo eficiente (Condición deseable).

Funcionamiento en la Condición Actual.

Las simulaciones para la condición actual se realizaron conforme a los datos asentados en la **tabla III.2.1.**

En la siguiente **tabla III.2.3** se tienen las variables de tirante, gasto y velocidad que se presentan en cada tramo del conducto.

III.2.3 VARIABLES EXISTENTES EN EL ACUAFÉRICO EN LA CONDICIÓN ACTUAL			
Tramo	Tirante (m)	Gasto (m ³ /s)	Velocidad (m/s)
San José - El Cartero	0.99	4.435	1.78
El Cartero - Santa Lucía	0.73	2.035	1.51
Santa Lucía - El Judío	0.57	2.035	1.60
El Judío - Río Magdalena	0.46	1.000	1.38
Río Magdalena - Primavera	0.37	0.600	0.76
Primavera - Hipocampo	0.20	0.100	0.49
Hipocampo - San Francisco	0.19	0.100	0.56

Análisis del Funcionamiento con el Gasto Máximo

Como punto de partida uno de los aspectos a revisar es el determinar el gasto máximo que puede conducir el Acuaférico en su tercera etapa sin entrar en carga y determinar el perfil que se forma desde la derivación 2 Primavera hasta la derivación 4 San Francisco, de éste análisis se obtuvo que el gasto máximo que se puede manejar sin entrar en carga es de 15.30 m³/s, con la variación de tirantes y velocidades que se muestran en la **tabla III.2.4**



III.2.4 TIRANTES Y VELOCIDADES MÁXIMAS EN LA TERCERA ETAPA DEL ACUÁFÉRICO		
	Tirante (m)	Velocidad (m/s)
Condiciones Después de la Deriv. 2 Primavera	314	1.45
Condiciones Después de la Deriv. 3 Hipocampo	2.34	2.58
Condiciones Después de la Deriv. 4 San Francisco	1.66	3.47

Como es fácilmente apreciable, en la tercera etapa se tiene la suficiente capacidad de conducción y es la que debería de aprovecharse para conducir agua mas allá de la zona de influencia de las derivaciones existentes, por tal motivo es necesario contar con una planeación adecuada que permita establecer las nuevas zonas que pueden verse beneficiadas ya sea con la infraestructura actual o con la construcción de nuevas líneas que permitan aprovechar integralmente el acuaférico.

Análisis del funcionamiento con un vertedor aguas abajo de la derivación 3 Hipocampo.

Se debe tomar en consideración que por las características en las cuales se ubica la derivación es difícil la instalación de algún mecanismo móvil que se pueda operar de acuerdo a los requerimientos de gasto en la derivación 3, por lo que es necesario pensar en alguna estructura que no requiera de operación y que además permita flexibilidad en el manejo de gastos, bajo este contexto se propone una solución alterna la cual consiste en colocar inmediatamente aguas abajo de la derivación 3 Hipocampo y sobre el túnel principal un muro vertedor, de forma que se obligue a que un determinado gasto se vaya por la derivación intermedia.

Para conocer como sería el comportamiento del perfil ante esta condición se efectuaron simulaciones para un rango de gastos a partir de la derivación 2 Primavera de 300, 400, 600, 800 y 1000 l/s.



Los resultados obtenidos de las simulaciones se observan en la **tabla III.2.5** donde se tienen los tirantes obtenidos a partir de los gastos analizados.

III.2.5 TIRANTES EXISTENTES EN LA TERCERA ETAPA DEL ACUAFÉRICO		
Gasto Inicial	Tirantes Después de la Deriv. 2 Primavera	Elavación del Vertedor
(l/s)	(m)	(m)
1,000.00	0.60	0.92
800.00	0.53	0.84
600.00	0.46	0.74
400.00	0.38	0.63
300.00	0.33	0.56

De acuerdo a la anterior tabla se puede hacer el siguiente razonamiento: se requeriría de un vertedor de 56 cm para poder derivar 300 l/s hacia Hipocampo sin embargo en caso de querer derivar mas gasto el vertedor empezaría a derramar el excedente hacia la salida de San Francisco Tlalnepantla por lo que el gasto máximo que se podría derivar hacia Hipocampo está en función de la altura del vertedor, entonces se debe proponer una altura de vertedor que garantice poder enviar el mayor gasto necesitado en Hipocampo, por tal motivo se propone que la altura del vertedor sea de 92 cm que permitirán derivar un máximo de un metro cúbico por segundo.



En caso de requerir menos agua por la derivación 3 Hipocampo, como es el caso, el gasto extraído se puede regular con la válvula de mariposa existente en la caja de control al final del túnel de la derivación 3 y entonces el excedente seguirá hacia San Francisco Tlalneapantla derramando sobre el vertedor; si por alguna razón no se requiere derivar gasto hacia Hipocampo entonces todo el gasto deberá pasar sobre el vertedor y en el caso de un metro cúbico, que es la situación mas crítica, se tendría una carga sobre el vertedor de 32 centímetros obtenida a partir de la ecuación del gasto de descarga de un vertedor rectangular, igual a:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g \mu b} h^{3/2}$$

donde:

- Q .- gasto sobre el vertedor = 1 m³/s
- g .- aceleración de la gravedad = 9.81 m²/s
- μ.- coeficiente de descarga = 0.554
- b .- ancho del vertedor = 3.20 m
- h .- carga sobre el vertedor, en m.

A partir de donde se calcula h como:

$$h = \left[\frac{Q}{\frac{2}{3} \sqrt{2g \mu b}} \right]^{2/3}$$

Si se tiene una elevación de 2,549.93 m en el punto donde se colocaría el vertedor, mas 0.92 m de altura del vertedor mas 0.33 m de carga, entonces se tendría una elevación de la superficie de la corriente aguas arriba del vertedor de 2,551.18 m y la cota de la clave del túnel al final de la derivación 3 Hipocampo es de 2,552.61 m por lo que la clave queda 1.43 m sobre la superficie del agua y no existe riesgo de que entre en carga esta parte del Acuífero.



La capacidad de conducción del Acuaférico está subutilizada, así como la posibilidad de utilizar su alcance geográfico para llevar agua a zonas mas alejadas como es el oriente de la ciudad.

Existe un manejo anárquico en la distribución de gastos a lo largo del Acuaférico.

Para contar con un manejo adecuado del agua se debe saber que cantidad es necesaria en el área de influencia de cada línea y además contabilizar la cantidad que se deriva.

A partir de representar las diversas condiciones que se pueden presentar en el Acuaférico mediante un modelo matemático, es posible generar parámetros fácilmente medibles que lleven a una mejor operación del sistema, como es el control de gastos.

La única manera de enviar mas agua por la derivación 3 Hipocampo sin meter en carga al túnel es adicionando estructuras, como es el caso de la instalación de un muro vertedor.

III.2 ESTADO ACTUAL

La magna obra, a cargo de compañías privadas que licitaron públicamente sus propuestas, es una de las infraestructuras hidráulicas más importantes del mundo. A principios de 1997 se construyeron 32 km que llegan hasta el poblado de San Francisco Tlanepantla, en la delegación Xochimilco; falta el tramo restante. Como se puede observar en la **Tab. III.2.6** Estado Actual del ACUAFÉRICO. En una entrevista realizada con un funcionario de la SACM menciona que no se ha concluido por primero recursos económicos y segundo por recursos políticos.

Map of the proposed highway project from the Port of Exit Anaco San José to the Cerro del Tehuilli.

Legend (SIMBOLOGIA):

- Portal de salida Anaco San José
- 1a etapa en operación 12 Km
- 2a etapa en operación 10.5 Km
- 3a etapa en construcción 12 Km
- 4a etapa proyectada 10 Km
- Tanque primavera
- Cerro del Judío
- Cerro del Tehuilli



Tab. III.2.6 ES

TRAMOS DE LAS ETAPAS DEL ACUAFÉRICO		LONG. (m)	POB. BEN. (HAB)	DEL. BEN.	AÑO
INICIO	TERMINO				INICIO
San José Analco	Cerro del Judío	5,040.00	400,000	Cuajimalpa Álvaro Obregón	19
Cerro del Judío	Primavera, Ajusco	4,822.00	800,000	Álvaro Obregón, Coyoacán, Tlalpan	19
Primavera, Ajusco	San Francisco Tlaneplantla	8,395.00	200,000	Tlalpan, Magdalena Contreras, Xochimilco	19
San Francisco Tlaneplantla	Cerro Tehutli	10,504	150,000*	Xochimilco, Milpa Alta, Municipios Conurbados del Edo. de Mex.	Per
Cerro Tehutli*	Caldera*	8,000.00	350,000*	Milpa Alta, Xochimilco, Iztapalapa, Tlahuac*	Per

TOTAL 36,761.00

* Información obtenida en el Sistema De Aguas De la Ciudad de México (SACM).



IV MACROCIRCUITO

El MACROCIRCUITO se elaboro con 3 líneas de conducción, una Línea No. 1 que va de la Toma 4 a Cerro Gordo, la otra que es la de nuestro interés, Línea No. 2 va de la Toma 4 a La Caldera y por ultimo la Línea No. 3 que va de la Toma 4 a Bellavista. Como se puede ver las 3 líneas parten de la Toma 4 que es ahí donde hacen su derivación a las respectivas líneas, partiendo antes de la Toma 4 de la Bifurcación del Acuaférico y Macrocircuito que tiene por nombre Túnel Analco.

IV.1 Trazo

Se elaboraron 3 líneas de conducción, como se muestra en el plano que se obtuvo en la CAEM, como se puede ver al fin del capítulo su planta.

Les presento la **tabla IV.1.1**, la longitud de cada línea:

LÍNEAS	TRAMOS DE LAS ETAPAS DEL MACROCIRCUITO		LONG. (Km)
	INICIO	TERMINO	
1	Toma 4	Cerro Gordo	52,000.50
2	Toma 4	Caldera	58,794.39
3	Toma 4	Bellavista	18,080.20



IV.2 Estado Actual

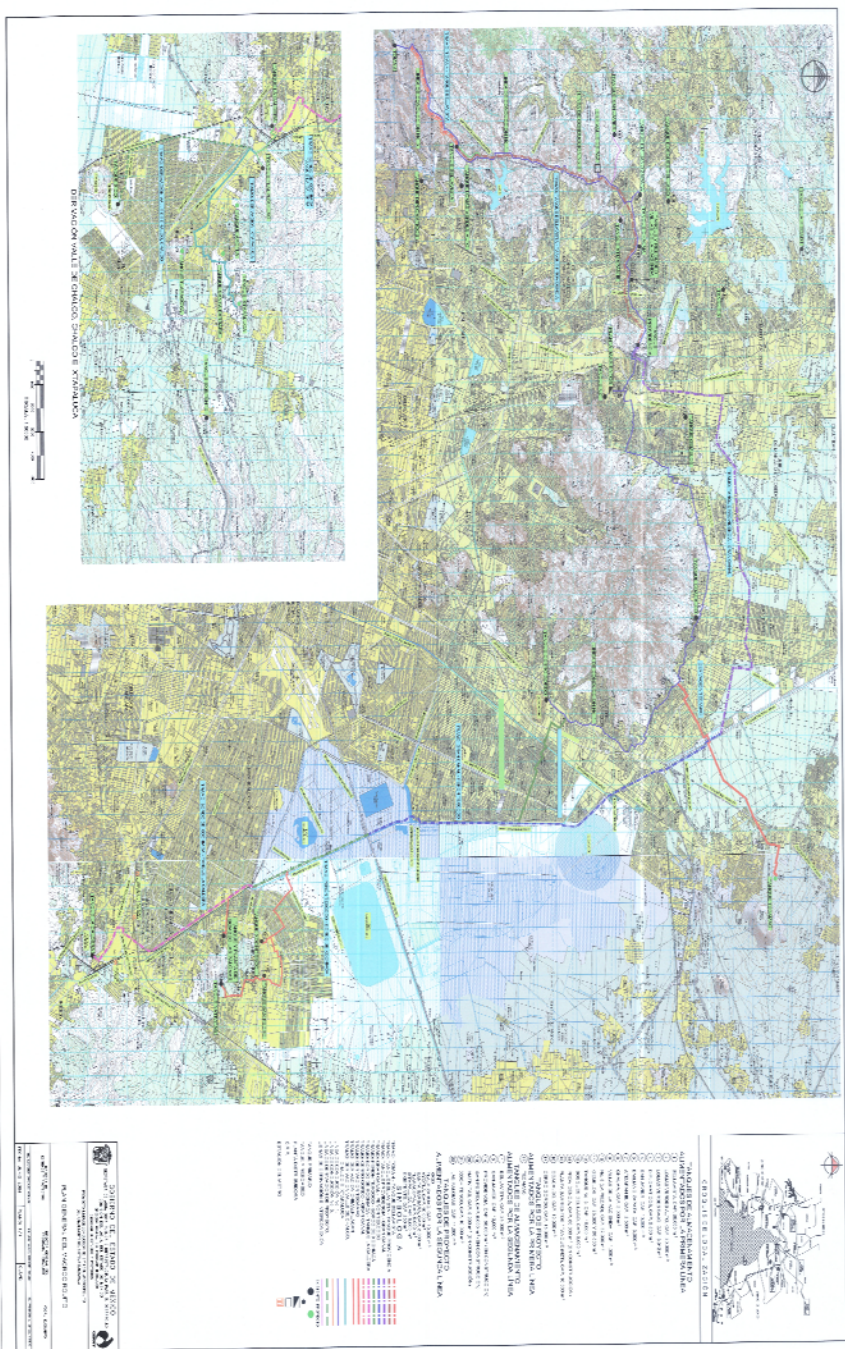
El estado actual del Macrocircuito se puede ver en el cuadro que se muestra a continuación:

Tab. V.1.2			
LÍNEAS	Ø (pulgadas)	ESTADO	MATERIAL DE CONSTRUCCION
1	48	Construido	Concreto Preesforzado
2	99, 54, 48 y 36	En Construcción*	Concreto Preesforzado
3	48	Construido	Concreto Preesforzado

Se le asignó a una empresa la línea 2, de la salida de Analco a La Providencia hasta, ya se tiene la construcción pero falta el resto de la obra no lo ha construido por que no se dan las condiciones sociales y no se tiene dinero.

Se estudiará para nuestra tesis la línea No. 2 que va hasta La Caldera y cierra en el circuito con el acuaférico. Ya esta construido 42 kilómetros hasta La Providencia.

Fig. IV.1 MACROCIRCUITO COMPLETO





V UNIÓN DEL ACUAFÉRICO Y MACROCIRCUITO

Resultaría muy provechoso que contáramos con la unión de estas dos magnas obras, pero no es así, me comentan en la CAEM que ahí no se tienen recursos para concluir la obra, y en la SACM es por falta de medios y por cuestiones políticas.

Esperemos que no dejen a la deriva tanto el Acuaférico como el Macrocircuito, pues con estas obras proporcionarían agua potable a la mayoría de todos los mexicanos.

V.1 Resultado de la unión del Acuaférico y Macrocircuito.

Expongo en este capítulo un plano de planta del Acuaférico y Macrocircuito, de 1996 que me proporcionaron en el SACM.

La unión serviría para dotar de Agua Potable al oriente de la ciudad de México como se puede ver el plano ya mencionado, así se tendría el preciado líquido a esa parte del D.F.

Debido a que el este es la parte mas baja no circularía el agua, se tendría que impulsar el agua para así hacerlo se tendría que gastar para adquirir bombas para que den la vuelta y ya sea lo que se llama un Acueducto Perimetral.

Donde se llegan a unir el Acuaférico y Macrocircuito es la parte más baja de la ZMCM, en dado caso de que quisiéramos que pasara el agua alrededor de la ciudad de México y si seria un Acuaférico, tendríamos que aumentar la carga. Pero si damos caudal en la zona que falta que esto es al oriente no es necesario. Presento la grafica de unión del Acuaférico y el Macrocircuito, y las graficas correspondientes.

Para su unión, tenemos una tabla como la que se muestra a continuación con la información proporcionada.

También se estudio por separado el gasto en el acuaférico y macrocircuito. Con diferentes pendientes se pudo observar los diferentes gastos y las diferentes cargas de energía.

Expongo una planta para así sea mas fácil la identificación del perfil.

Todo esto se proyecto desde un principio, eso se plantea en las páginas siguientes el plano donde se encuentra unido, pero el único problema es que desgraciadamente tenemos problemas políticos y económicos, esto es, el Acuaférico esta hecho por el Distrito Federal que tenemos en el poder al



Partido de la Revolución Democrática y en el Estado de México esta a cargo el Partido Revolucionario Institucional.

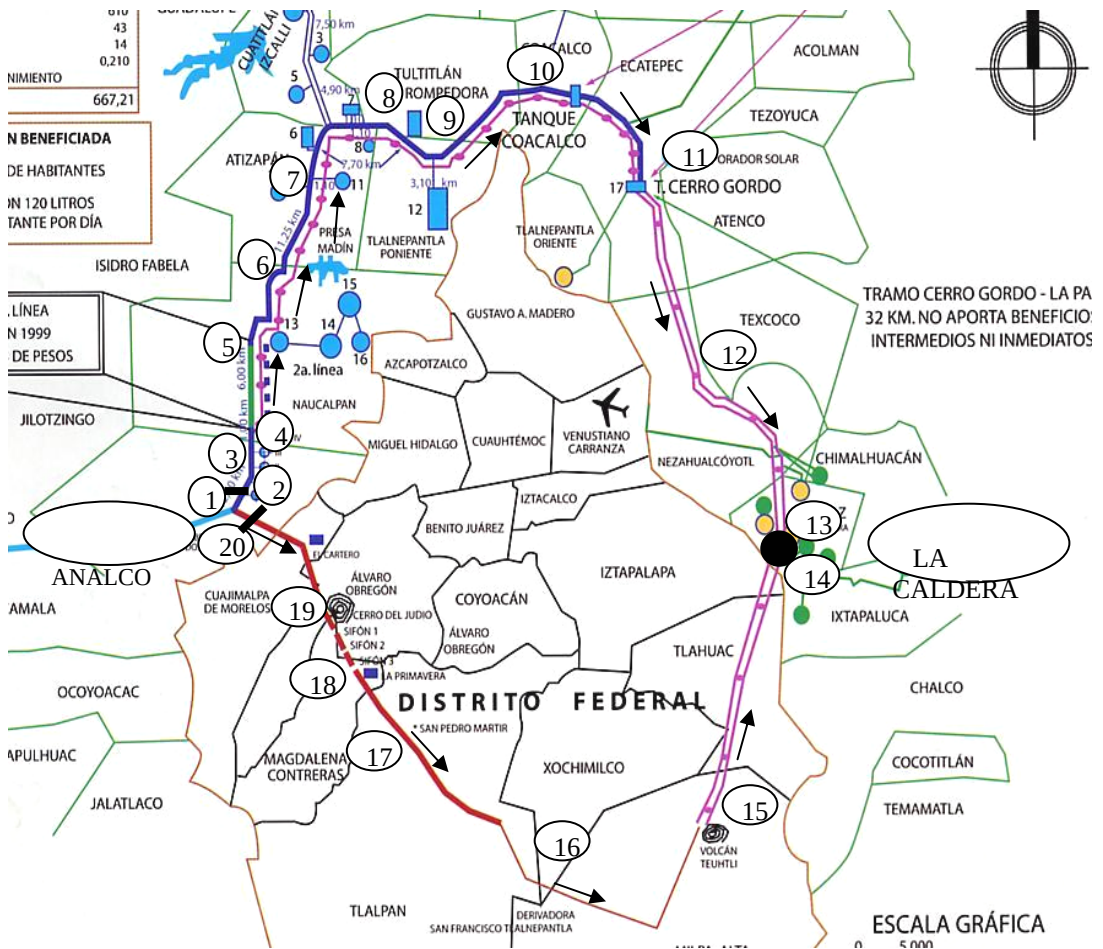
Como se escribió en la introducción no se pretende solo mostrar lo que existe, también aporfo y hago una variación de gastos con diferentes pendientes, ya las muestro al final pongo también las ecuaciones usadas y un perfil de su unión. Concluyo el apartado con la gráfica del perfil unido.

Debido a que es muy grande el perfil, se divide en la Acuaferico y el Macrocircuito, pero al final se pone el perfil de los dos y se quedan unidos con la línea de energía que de calculó y se hace el cruce de esta.

[illegible]



**Fig. V.2 ACUAFÉRICO Y MACROCIRCUITO planta
(Indicador para perfil)**



**Fig. V.2 ACUAFÉRICO Y MACROCIRCUITO planta
(Indicador para perfil)**


Tab. V.1 GASTOS DEL ACUAFÉRICO

Caract.	ELEVACIÓN DE TIRANTE m	PENDIENTE S ₀	ANGULO θ °	ÁREA m ²	P _m m	Rh
o lleno	4.00000000	0.00461728	360.00000000	12.56640000	12.56640000	1.00000000
	3.40000000	0.00461728	306.00000000	10.68144000	10.68144000	0.84322200
	2.70000000	0.00461728	243.00000000	8.48232000	8.48232000	0.66961747
	2.00000000	0.00461728	180.00000000	6.28320000	6.28320000	0.49601294
	1.20000000	0.00461728	108.00000000	3.76992000	3.76992000	0.29760776
	0.60000000	0.00461728	54.00000000	1.88496000	1.88496000	0.14880388
o vacío	0.00000000	0.00461728	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000

Se elaboro la grafica del Acuaférico con las 3 pendientes más representativas en el mismo tubo a las capacidades mencionadas, esto es:

$$S_0 = 0.0046178$$

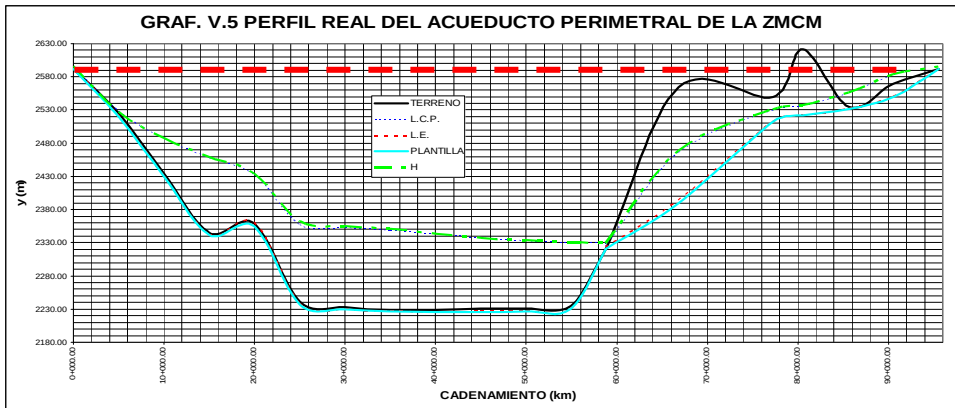
$$S_0 = 0.001033915$$

$$S_0 = 0.000867974$$

Las ecuaciones para obtener la tabla anterior se obtuvieron del libro escrito por Mataix. (ver la referencia bibliográfica No.1)

Se presentan las ecuaciones que se usaron con más frecuencia:

$$Q = \frac{A}{n} Rh^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$



V. UNIÓN DEL ACUAFÉRICO Y MACROCIRCUITO



Tab. V.3 PERFIL REAL DEL ACUEDUCTO PERIMETRAL DE LA ZMCM															
CONDUCCION	SECCIÓN	CADENAMIENTO (km)	GASTO DE DISEÑO Q (m³/s)	DIAMETRO DE DISEÑO Ø (m)	ÁREA A (m²)	VELOCIDAD V (m/s)	CARGA DE VELOCIDAD V²/2g (m)	LÍNEA DE ENERGÍA L.E. Z+V²/2g (m)	DIFERENCIA TERRENO Δs (m)	PENDIENTE S ₁	PLANTILLA Z (mm)	TERRENO (mm)	CARGA DE PRESIÓN DE DISEÑO P _{ig} (m)	PIEZOMÉTRICA L.C.P. Z+P _{ig} (mm)	CARGA TOTAL H (m)
TUNEL ANALCO	ANALCO-TM	0	12.84	5	19.635	0.65393401	0.02179982	2584.57180	7.31	0.07370000	2584.55	2584.55	11.000	2595.55	2595.51
INICIO MACROCIRCUITO															
BUCA MACROBUCA* ¹	1	0+000.00	4.84	2.51	4.948099	0.978153618	0.024070376	2592.36689	0.00	0.00000000	2591.92	2591.92	4.050	2595.97	2596.00
NAUCALPAN*	2	5+000.00	3.41	2.51	4.948099	0.688153618	0.024200696	2521.36549	72.28	0.01445600	2519.64	2524.92	7.180	2528.80	2526.85
TOMA 4**	3	10+000.00	3.41	2.51	4.948099	0.688153618	0.024200696	2430.10421	161.84	0.01618400	2430.08	2434.31	56.590	2486.67	2487.39
BIFURCACIÓN T. BELLAVISTA	4	15+000.00	3.41	2.51	4.948099	0.688153618	0.024200696	2341.57421	259.37	0.01669333	2341.55	2344.99	118.110	2459.68	2458.85
T. MEX. MAYO*	5	20+000.00	2.64	1.37	1.474117	1.53753963	0.12049073	2360.23659	236.80	0.01184000	2355.12	2359.29	76.890	2431.99	2432.96
T. ATACAPAN*	6	25+000.00	4.89	1.37	1.474117	2.895919572	0.443628788	2217.62383	354.74	0.01438964	2217.18	2241.31	124.790	2356.89	2356.90
T. PROVIDENCIA	7	30+000.00	3.73	1.22	1.168989	3.138786176	0.131816576	2228.98856	361.44	0.01370813	2227.46	2235.84	125.350	2352.36	2354.88
T. METI	8	35+000.00	2.64	1.37	1.474117	1.790902306	0.163472532	2226.60347	365.48	0.01044223	2226.44	2228.12	122.320	2348.76	2350.90
T. COACALCO	9	40+000.00	2.64	1.37	1.474117	1.790902306	0.163472532	2226.60347	365.48	0.00956079	2226.49	2228.35	111.540	2343.93	2347.89
T. CERRO GORDO*	10	45+000.00	2.64	1.37	1.474117	1.790902306	0.163472532	2226.60347	365.16	0.00813669	2226.76	2231.18	111.020	2338.78	2336.54
T. LAS PALOMAS	11	50+000.00	2.64	1.37	1.474117	1.790902306	0.163472532	2226.60347	365.11	0.00770300	2226.77	2230.31	106.020	2332.79	2332.60
CALDERA	12 La Caldera	58+794.39	1.6	1.22	1.168989	1.368703647	0.095481635	2231.05648	360.95	0.00656273	2227.97	2234.64	99.450	2320.42	2320.52
FIN MACROCIRCUITO															
FIN ACUAFÉRICO															
CALDERA	13 La Caldera	58+794.39	8	1.22	1.168989	6.843518234	0.387040987	2222.83704	271.43	0.00461728	2220.45	2220.45	4.910	2325.36	2327.75
VOLCAN TEHUETLI	14	66+794.39	8	1.22	1.168989	6.843518234	0.387040987	2222.83704	201.92	0.00362301	2200.00	2264.28	76.640	2405.64	2408.03
SAN FRANCISCO TLANEPLANTA	15	77+728.39	8	3.2	8.042490	0.994710268	0.050431196	2512.05043	79.92	0.01021392	2512.00	2503.00	17.740	2529.74	2529.79
SAN PEDRO MARTIR	16	80+555.39	8	3.2	8.042490	0.994710268	0.050431196	2512.05043	69.92	0.00907977	2502.00	2511.38	13.780	2515.78	2515.81
T. PRIMAVERA ALUSCO	17	86+693.39	8	4	12.5654	0.636618284	0.020956618	2532.02069	59.92	0.00906924	2532.00	2534.26	23.650	2555.65	2556.67
CERRO DEL ALDO	18	90+155.39	8	4	12.5654	0.636618284	0.020956618	2532.02069	41.52	0.00846313	2530.00	2537.00	33.320	2563.32	2563.34
INICIO ACUAFÉRICO	20	96+555.39	8	4	12.5654	0.636618284	0.020956618	2531.94069	0.00	0.00000000	2531.92	2531.92	2.610	2564.53	2564.50
INICIO ACUAFÉRICO															
TUNEL ANALCO	ANALCO-TM	0	12.84	5	19.635	0.65393401	0.02179982	2584.57180	7.31	0.07370000	2584.55	2584.55	11.000	2595.55	2595.51



CONCLUSIONES

El agua es vital para todos los seres humanos y lo que se propone en este trabajo es una alternativa para su mejor distribución.

Existe una indisoluble relación entre los abastecimientos, la distribución del agua y el crecimiento de la ciudad en las partes altas. Con los aportes del sistema Lerma se superó la limitante de urbanizar arriba de la cota 2,350 msnm. Pero ahora, con los aportes del Cutzamala, se vuelve a rebasar los límites de la urbanización que alienta el agua. No sobra recordar que tanto el Macrocircuito como el Acuaférico son distribuidores del agua procedente del acueducto del Cutzamala, el cual entra a la ciudad en una cota hidráulica alta, la 2,500 msnm. Técnicamente hablando, podría distribuirse a las urbanizaciones asentadas por debajo de dicha cota, como Sierra de Guadalupe, Las Cruces y el Ajusco. No todos estos asentamientos gozan del líquido, pues ello depende de los distribuidores y la existencia de tanques de almacenamiento locales. Algunos fraccionamientos para sectores medios y altos tienden, incluso, a construirlos con sus propios medios; pero los de sectores de menores ingresos por lo común se abastecen todavía de pipas oficiales y particulares.

El período más crítico de hundimiento de la ciudad se sufrió a mediados del presente siglo. Entre 1950 y 1980 la zona central se hundió 5 metros. En la zona lacustre del sur y en el ejido de San Gregorio, ubicado entre el canal de Chalco y Xochimilco, hubo en el mismo período, hundimientos de 4 metros.

Registros confiables muestran de 1983 a 1992 hundimientos anuales alrededor del Aeropuerto Internacional de entre 15 y 25 centímetros; de 10 en el Centro Histórico, de entre 10 y 15 centímetros en de Xochimilco y Tláhuac. Actualmente la situación no ha variado pues el hundimiento medio anual en el Centro Histórico es de 10 centímetros, en Xochimilco de 15; y de 20 a 25 en el Aeropuerto Internacional. El mayor se tiene en Ciudad Netzahualcoyotl: 30. Los ritmos de hundimiento se reducen en las zonas no lacustres, como Azcapotzalco a tan solo entre 2 y 5 centímetros anuales.

Una prueba visual reciente del hundimiento de la ciudad se aprecia en una banca ubicada en la Fuente de las Cibeles, inaugurada sobre el piso en 1980. Una fotografía de julio de 1993 muestra hundimientos en esa zona de 4 centímetros anuales; otra de octubre del año pasado, los registra mayores: de 5 centímetros. La cifra oficial de 7 centímetros promedio anual tendría entonces que tomarse como lo que es: un promedio que no refleja los valores máximos registrados en zonas convertidas hoy en muy vulnerables, principalmente el Aeropuerto, la parte central de la ciudad y las chinampas de



la región lacustre del sur, con hundimientos mayores a 15 centímetros anuales.

En síntesis, la parte central de la ciudad de México, específicamente la Catedral Metropolitana, se ha hundido 12.5 metros desde su construcción iniciada a fines del siglo XVI. De ellos, 7.5 han sido en este siglo. Los estudios coinciden en que la ciudad ha sufrido en las partes más críticas hundimientos de entre 8 y 10 metros en los últimos 100 años, es decir casi un metro cada 10 años.

Según la Comisión Nacional del Agua, el año pasado oficialmente estaban registrados y en operación 910 pozos profundos en el D.F., en el estado de México 1,530, y en los territorios de Hidalgo y Tlaxcala pertenecientes a la cuenca, 306. Sin embargo, hay que hacer notar que a pesar de la mayor cantidad de pozos que existen en el estado de México respecto al D.F., se obtiene igual volumen de extracción de agua en ambas entidades. No se conoce con certeza si ello se debe a la mayor profundidad de los pozos en el D.F., o bien a una mayor disposición de agua en sus mantos freáticos.

La extracción continua del agua mediante pozos y el consecuente hundimiento del subsuelo han provocado, por lo menos, cinco graves efectos.

El primero es el desnivel del drenaje general de la ciudad con respecto al Gran Canal, uno de sus desagües más importantes. El desnivel de 8 metros calculado en la zona central, obligo a construir y operar un potente sistema de bombeo para elevar hasta ese desagüe el agua residual y pluvial. Para esa labor operan 79 plantas de bombeo en el D.F. y 122 en el estado de México, con capacidad de 500 m³/s, lo que implica un gran gasto de energía. Destacan por su importancia la de San Buenaventura que ha evitado en los últimos años las tradicionales inundaciones en Xochimilco; la de Aculco y otras localidades a lo largo del Gran Canal.

El segundo efecto es la pérdida de pendiente del Gran Canal del Desagüe. Los 16.2 centímetros por kilómetro que tenía en 1900 se redujeron a 11.7 en 1951 y a cero en algunas partes a partir de 1993. En otras palabras, el agua de drenaje que salía por gravedad utilizando la pendiente original se está regresando a la ciudad. Previendo una futura catástrofe, se tomó la decisión de corregir sus pendientes entubando el tramo correspondiente al D.F. Asimismo, en los últimos años se construyeron sistemas de bombeo para canalizar parte de sus afluentes al Drenaje Profundo. Con ello se redujeron las posibilidades de una inundación mayor y parte se recuperó la eficacia de dicho Gran Canal.



Un tercer resultado son los daños en las estructuras de los edificios, monumentos y el propio suelo de la ciudad. Los hundimientos diferenciales en el Centro Histórico han provocado fracturas en las estructuras del Palacio Nacional, la Catedral Metropolitana, El Arzobispado, el antiguo Ayuntamiento y las oficinas del Departamento del Distrito Federal, entre otros. Los últimos sistemas utilizados para aminorar los daños solo buscan nivelar el hundimiento, sin disminuir su ritmo. Edificios con cimentaciones hasta las partes mas duras del subsuelo han emergido. Es el caso del Ángel de la Independencia. Otro resultado son los agrietamientos del suelo: en 1985 el sismo causó una abertura en la zona lacustre de San Gregorio Atlapulco, Xochimilco, muy cercana a los canales chinamperos. En los últimos cinco años, agrietamientos y oquedades de consecuencias graves se observan en otras zonas de la ciudad; sobresale la ocurrida del 6 de julio de 1996 al lado de Canal Nacional.

Un cuarto efecto son las fracturas que han sufrido las tuberías de drenajes domiciliarios. No hay información confiable para asegurar que tal fenómeno sea generalizado. La clausura de algunos pozos de agua potable en la región sur-oriente debido a la presencia de incipientes patógenos, podría estar comprobando la contaminación de los mantos freáticos por descargas residuales en algunas zonas de la ciudad. Hay también algunas evidencias de roturas en las tuberías de agua potable, mismas que estarían incrementando los altos volúmenes de fugas y desperdicios en el sistema.

El quinto y último resultado se relaciona con la salud y el ambiente. Se trata de la posible presencia de hidrocarburos en el subsuelo y en los mantos freáticos superficiales por las fracturas en las tuberías generales de abasto, así como de los depósitos subterráneos de las gasolineras. El año pasado algunos medios informaron del descubrimiento de hidrocarburos a 3 metros de profundidad y de fugas de gasolina en estaciones del Metro y drenajes domiciliarios. La presencia comprobada de hidrocarburos en el subsuelo y mantos freáticos es una llamada de alerta por su elevada explosividad; máxime si a corto y mediano plazo no se tiene previsto disminuir el volumen de extracción de agua y, por ende, los ritmos del hundimiento.

El sistema de distribución del agua ha generado un injusto reparto por sectores sociales y por entidad federal. En efecto, llama notoriamente la atención que los municipios conurbados del estado de México, con mayores demandas de agua por su elevada concentración de población, dispongan de un distribuidor con diámetros notoriamente menores al Acuaférico que abastece de líquido al Distrito Federal. El 75% de la tubería del macrocircuito es de solo 1.2 m de diámetro, el 18% es de 2.5 y el restante 7% de 1.5. Mientras el Acuaférico es un túnel de 4.5 m de diámetro con más de dos veces su capacidad de conducción respecto al primero.



Por otro lado, existe una distribución inequitativa del agua por entidad. Por ejemplo, las zonas urbanizadas del área metropolitana que conforman los municipios del estado de México, cuentan solo con el 45% del volumen total del agua a pesar de que albergan 10 de los 18 millones de habitantes de la urbe. En general, la misma proporción se observa en cuanto a la distribución del agua extraída de los pozos en el Valle de México.

Respecto al agua que aportan las cuencas de Lerma y Cutzamala la situación varía significativamente: a pesar de que se ubican en la vecina entidad, los municipios conurbados solo reciben el 28% mientras el Distrito Federal concentra el restante 72% de dichas fuentes. La distribución desigual también se tiene al comparar los promedios por habitantes; los residentes del D.F. reciben casi el doble de agua que los del estado de México: 401 litros al día contra 261 litros.

La historia de la ciudad comprueba que ahí donde se lleva el agua se finca la urbanización. La primera conurbación con un pueblo cercano se dio a partir del siglo XVII; fue con Tacuba y se registró precisamente a lo largo de la calzada por donde se abastecía a la ciudad del agua proveniente de Chapultepec. Lo mismo sucedió a principios de siglo con la extensión de la ciudad hacia el sur, a partir de la construcción del acueducto de Xochimilco. Los impactos sobre el crecimiento y la expansión se presentan ahora con el acueducto perimetral, principalmente en el caso del Acuaférico.

Este último será, sin duda, uno de los principales detonadores de la urbanización de la sierra del Ajusco, incentivando los cambios de usos del suelo, que de agrícolas pasarán a ser urbanos; valorizando una vasta zona y sentando así las bases para la conurbación del valle de México con el de Cuernavaca. El Gobierno del Distrito Federal cuenta con decenas de propuestas de desarrollos inmobiliarios de carácter campestre y preservación ecológica que, de ser llevados a cabo, también impulsarán la urbanización de la sierra.

El Acuaférico tiene una capacidad de distribución de 25 m³/s, equivalente al consumo actual de Guadalajara, con 6 millones de habitantes. La capacidad de distribución del Acuaférico parecería así justificar la visión previsor de atender las demandas actuales y las de la población futura. Pero no por muchos años.

Toda esta agua proveniente de fuentes subterráneas y externas al valle, se transporta dentro del Distrito Federal por medio de 514 kilómetros de acueductos y líneas de conducción hacia 297 tanques de almacenamiento, para posteriormente hacerla llegar a las tomas de los usuarios a través de 910 kilómetros de red primaria y 11,900 kilómetros de redes de distribución. Cabe



destacar que del total de las tomas el 98 por ciento son domiciliarias y sólo el dos por ciento es distribuida por medio de carros cisterna.

En virtud de la construcción y operación de las primeras tres etapas del Acueducto Perimetral, que está localizado al poniente de la ciudad y consta de un túnel de cuatro metros de diámetro y 20. 906 kilómetros de longitud en operación, comprendidos entre el Portal San José en la Delegación Cuajimalpa, y el tanque La Primavera en la Delegación Tlalpan, se distribuye el caudal a las comunidades lejanas y a un bajo costo, puesto que éste funciona por medio de la gravedad.

El objetivo de esta obra es distribuir de manera más eficiente los caudales provenientes del Sistema Cutzamala y de las futuras fuentes de abastecimiento externas al valle de México entre los habitantes del Distrito Federal, especialmente a aquellos ubicados en las zonas sur y oriente.

En lo que respecta a la Ciudad de México el cambio climático nos esta afectando de sobremanera, un ejemplo claro son las graves inundaciones que se presentaron en el sur-este del país, en el momento que estoy escribiendo mi tesis, hace tanto frío que no tengo ni ideas para escribir lo que me falta.

La unión del Acuaférico y Macrocircuito se dará hasta que el gobierno haga conciencia -ad calendas Graecas- en el gran problema que representa la mala distribución del agua, ya que promueve el desperdicio en aquellos lugares donde no se tienen restricciones para su uso y en cambio la escasez obliga a otros a vivir en condiciones insalubres.



APÉNDICE

Se presentan los oficios por orden de aparición y contestación.

El primero fue en la CAEM al Encargado de la Subdirección de Proyectos de la Comisión del Agua del Estado de México.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
CIVIL Y GEOMÁTICA

SECRETARÍA ACADÉMICA

ING. JOSÉ MANUEL MIRA GUTIÉRREZ
ENCARGADO DE LA SUBDIRECCIÓN DE
PROYECTOS
COMISIÓN DEL AGUA DEL ESTADO DE MÉXICO

P R E S E N T E

Mediante éste me permito presentar al alumno de Ingeniería Civil Marco Arturo Corona Ramírez con No. de cuenta 9560890-3 e informarle que se encuentra en este momento elaborando su tesis la cual lleva por título: **"Estado Actual del Acuaferico y Macrocircuito de la Ciudad de México y Zona Conurbada"**.

Por lo anterior solicito de usted su valioso apoyo en el sentido de proporcionar cualquier información que le permita al Sr. Corona Ramírez desarrollar el temario de su tesis profesional.

El índice del tarabajo mencionado es el siguiente:

- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
- II. FUENTES DE ABASTECIMIENTO
 - II.1 Lerma
 - II.2 Cutzamala
 - II.3 Amacuzac
 - II.4 Tecolutla
 - II.5 Pozos Urbanos
- III. ACUAFERICO
 - III.1 Trazo
 - III.2 Estado Actual
- IV. MACROCIRCUITO
 - IV.1 Trazo
 - IV.2 Estado Actual
- V. UNION DEL ACUAFERICO Y MACROCIRCUITO
 - V.1 Resultado de la unión del acuaferico y macrocircuito
- VI. CONCLUSIONES



Le envío un cordial saludo.

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D. F., a 30 de julio de 2007
EL SECRETARIO ACADÉMICO

ING. MARCOS TREJO HERNÁNDEZ

Cop. Archivo



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
CIVIL Y GEOMÁTICA

SECRETARÍA ACADÉMICA

ING. EDGARDO CASTAÑEDA ESPINOSA
DIRECTOR GENERAL DEL PROGRAMA HIDRÁULICO
COMISIÓN DEL AGUA DEL ESTADO DE MÉXICO

PRESENTE

Mediante éste me permito presentar al alumno de Ingeniería Civil Marco Arturo Corona Ramírez con No. de cuenta 9560890-3 e informarle que se encuentra en este momento elaborando su tesis la cual lleva por título: **"Estado Actual del Acuaférico y Macrocircuito de la Ciudad de México y Zona Conurbada"**.

Por lo anterior solicito de usted su valioso apoyo en el sentido de proporcionar cualquier información que le permita al Sr. Corona Ramírez desarrollar el temario de su tesis profesional.

El índice del tarabajo mencionado es el siguiente:

- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
- II. FUENTES DE ABASTECIMIENTO
 - II.1 Lerma
 - II.2 Cutzamala
 - II.3 Amacuzac
 - II.4 Tecolutla
 - II.5 Pozos Urbanos
- III. ACUAFERICO
 - III.1 Trazo
 - III.2 Estado Actual
- IV. MACROCIRCUITO
 - IV.1 Trazo
 - IV.2 Estado Actual
- V. UNION DEL ACUAFERICO Y MACROCIRCUITO
 - V.1 Resultado de la unión del acuaférico y macrocircuito
- VI. CONCLUSIONES

Le envío un cordial saludo.

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D. F., a 30 de julio de 2007
EL SECRETARIO ACADÉMICO

ING. MARCOS TREJO HERNÁNDEZ

Cop. Archivo





El siguiente que fue la contestación al Ing. Marcos Trejo Secretario Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México.



GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO



"2007. AÑO DE LA CORREGIDORA DOÑA JOSEFA ORTIZ DE DOMÍNGUEZ"

206B20000/ 1503 /07
Naucalpan de Juárez, México,
31 de julio de 2007

INGENIERO
MARCOS TREJO HERNÁNDEZ
SECRETARIO ACADÉMICO
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

En relación a su oficio de fecha 30 de julio del año en curso, informo a usted que por mi parte no hay inconveniente, en proporcionar toda clase de información solicitada para su tesis, al alumno de Ingeniería Civil Marco Arturo Corona Ramírez con No. de cuenta 9560890-3.

Para lo anterior deberá presentarse el Ing. Corona con el Ing. José Manuel Mira Gutiérrez, Encargado de la Subdirección de Proyectos, en la Calle Félix Guzmán No. 10, 5°. Piso, Col. El Parque, Naucalpan de Juárez, Estado de México, teléfono 55 76 79 92.

Sin otro particular por el momento, quedo de usted.

ATENTAMENTE

ING. EDGARDO CASTAÑEDA ESPINOSA
DIRECTOR GENERAL DEL PROGRAMA HIDRÁULICO

7 AGO 14 4:43
FACULTAD
DE INGENIERIA

C.c.p. P. Arq. M. Rene Chicho Escobar, Director de Estudios y Proyectos.
Ing. José Manuel Mira Gutiérrez, Encargado de la Subdirección de Proyectos.
Archivo/Minutario.
ECE/cmb.



COMISION DEL AGUA DEL ESTADO DE MEXICO

FELIX GUZMAN No. 10 COL. EL PARQUE
NAUCALPAN DE JUAREZ, EDO. DE MEXICO C.P. 53390
TELS. 5358-6955 5358-6651
www.edomex.gob.mx/caem/CAEM.htm



Seguidamente al Sistema de Aguas de la Ciudad de México.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
CIVIL Y GEOMÁTICA

SECRETARÍA ACADÉMICA

ING. CARLOS ESPINOZA GONZÁLEZ
DIRECTOR TÉCNICO
SISTEMA DE AGUA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

P R E S E N T E

Mediante éste me permito presentar al alumno de Ingeniería Civil Marco Arturo Corona Ramírez con No. de cuenta 9560890-3 e informarle que se encuentra en este momento elaborando su tesis la cual lleva por título: **"Estado Actual del Acuaferico y Macrocircuito de la Ciudad de México y Zona Conurbada"**.

Por lo anterior solicito de usted su valioso apoyo en el sentido de proporcionar cualquier información que le permita al Sr. Corona Ramírez desarrollar el temario de su tesis profesional.

El índice del tarabajo mencionado es el siguiente:

- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
- II. FUENTES DE ABASTECIMIENTO
 - II.1 Lerma
 - II.2 Cutzamala
 - II.3 Amacuzac
 - II.4 Tecolutla
 - II.5 Pozos Urbanos
- III. ACUAFERICO
 - III.1 Trazo
 - III.2 Estado Actual
- IV. MACROCIRCUITO
 - IV.1 Trazo
 - IV.2 Estado Actual
- V. UNION DEL ACUAFERICO Y MACROCIRCUITO
 - V.1 Resultado de la unión del acuaferico y macrocircuito
- VI. CONCLUSIONES



Le envío un cordial saludo.

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D. F., a 30 de julio de 2007
EL SECRETARIO ACADÉMICO

ING. MARCOS TREJO HERNÁNDEZ

Ccp Archivo



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
CIVIL Y GEOMÁTICA

SECRETARÍA ACADÉMICA

ING. CARLOS ESPINOZA GONZÁLEZ
DIRECTOR TÉCNICO
SISTEMA DE AGUA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

PRESENTE

Mediante éste me permito presentar al alumno de Ingeniería Civil Marco Arturo Corona Ramírez con No. de cuenta 9560890-3 e informarle que se encuentra en este momento elaborando su tesis la cual lleva por título: **"Estado Actual del Acuaferico y Macrocircuito de la Ciudad de México y Zona Conurbada"**.

Por lo anterior solicito de usted su valioso apoyo en el sentido de proporcionar cualquier información que le permita al Sr. Corona Ramírez desarrollar el temario de su tesis profesional.

El índice del tarabajo mencionado es el siguiente:

- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
- II. FUENTES DE ABASTECIMIENTO
 - II.1 Lerma
 - II.2 Cutzamala
 - II.3 Amacuzac
 - II.4 Tecolutla
 - II.5 Pozos Urbanos
- III. ACUAFERICO
 - III.1 Trazo
 - III.2 Estado Actual
- IV. MACROCIRCUITO
 - IV.1 Trazo
 - IV.2 Estado Actual
- V. UNION DEL ACUAFERICO Y MACROCIRCUITO
 - V.1 Resultado de la unión del acuaferico y macrocircuito
- VI. CONCLUSIONES



Le envío un cordial saludo.

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D. F., a 30 de julio de 2007
EL SECRETARIO ACADÉMICO

ING. MARCOS TREJO HERNÁNDEZ

Cop. Archivo





UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
CIVIL Y GEOMÁTICA

SECRETARÍA ACADÉMICA

ING. CARLOS ESPINOZA GONZÁLEZ
DIRECTOR TÉCNICO
SISTEMA DE AGUA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

PRESENTE

Mediante éste me permito presentar al alumno de Ingeniería Civil Marco Arturo Corona Ramírez con No. de cuenta 9560890-3 e informarle que se encuentra en este momento elaborando su tesis la cual lleva por título: **"Estado Actual del Acuaférico y Macrocircuito de la Ciudad de México y Zona Conurbada"**.

Por lo anterior solicito de usted su valioso apoyo en el sentido de proporcionar cualquier información que le permita al Sr. Corona Ramírez desarrollar el temario de su tesis profesional.

El índice del tarabajo mencionado es el siguiente:

- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
- II. FUENTES DE ABASTECIMIENTO
 - II.1 Lerma
 - II.2 Cutzamala
 - II.3 Amacuzac
 - II.4 Tecolutla
 - II.5 Pozos Urbanos
- III. ACUAFERICO
 - III.1 Trazo
 - III.2 Estado Actual
- IV. MACROCIRCUITO
 - IV.1 Trazo
 - IV.2 Estado Actual
- V. UNION DEL ACUAFERICO Y MACROCIRCUITO
 - V.1 Resultado de la unión del acuaférico y macrocircuito
- VI. CONCLUSIONES

Le envío un cordial saludo.

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D. F., a 30 de julio de 2007
EL SECRETARIO ACADÉMICO

ING. MARCOS TREJO HERNÁNDEZ

Ccp/ Archivo





El siguiente que fue la contestación al Ing. Marcos Trejo Secretario Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México, por parte de la SACM.



Secretaría del Medio Ambiente
Sistema de Aguas de la Ciudad de México



Dirección Ejecutiva: de Planeación y Construcción
Dirección: Técnica
Subdirección: Proyectos
Unidad Departamental: Proyectos de Plantas Potabilizadoras
Oficio Número: GDF-SMA-SACM-07

40195

Asunto: Ref. a Información para elaborar tesis.

México, Capital en Movimiento, Agosto 13 de 2007.

ING. MARCOS TREJO HERNÁNDEZ
SECRETARIO ACADÉMICO - UNAM
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
TEL. 55 81 82 64
P R E S E N T E

En atención a su escrito de fecha 30 de julio del año en curso, mediante el cual hace la presentación del alumno Marco Arturo Corona Ramírez, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, el cual está elaborando su tesis cuyo título es "Estado Actual del Acuafero y Macrocircuito de la Ciudad de México y Zona Conurbada"; solicitando a su vez se le brinde el apoyo necesario a efecto de proporcionarle la información que le permita el desarrollo del temario de su tesis profesional.

Al respecto le solicito atentamente dirigir al interesado con el Ing. Mauricio J. Hernández García, Subdirector de Proyectos de este Órgano Desconcentrado, quien le proporcionará la información disponible en forma física y en medio magnético.

Sin otro particular por el momento, reciba usted un cordial saludo.

ATENTAMENTE
SUFRAGIO EFECTIVO. NO REELECCIÓN
EL DIRECTOR TÉCNICO

M. en C. CARLOS ESPINOSA GONZÁLEZ



Copias:

M. en C. Bernardo Echavarría Soto – Director Ejecutivo de Planeación y Construcción - SACM.
Ing. Mauricio J. Hernández García – Subdirector de Proyectos - SACM.
Ing. José Antonio Arias Pérez – Jefe de la U. D. de Proyectos de Plantas Potabilizadoras - SACM.
Archivo de la Subd. de Proyectos en Atención al Volante 887.
Archivo de la Dirección Técnica en Atención al Trámite 01175/2007.
Archivo - SACM.



Nezahualcoyotl No. 109 • 5 Piso • Col. Centro • C.P. 06080
• Delegación Cuauhtémoc • Tel. 5130 4444 Ext. 1502





Como el oficio anterior me informaban que me tenia que dirigir con el Ing Mauricio J. Hernández Subdirector de Proyectos de Sistema de Aguas de la Ciudad de México, le hice un oficio.

ING. MAURICIO J. HERNANDEZ GARCÍA
Subdirector de Proyectos
Sistema de Aguas de la Ciudad de México
P r e s e n t e.

Le presento el índice de la tesis, la cual voy a elaborar, ruego a ud. su apoyo y la información que me pueda brindar.

INDICE DEGLOSADO

TEMA: ESTADO ACTUAL DEL ACUAFÉRICO Y MACROCIRCUITO DE LA CIUDAD DE MÉXICO Y ZONA CONURBADA

INTRODUCCIÓN

- I. ANTECEDENTES
 - I.1 Necesidades Hidráulicas
 - I.2 Proyecto Hidráulico del Acuaférico
 - I.2.1 Diseño
 - I.2.2 Construcción
 - I.2.3 Operación
 - I.3 Proyecto Hidráulico del Macrocircuito
 - I.3.1 Diseño
 - I.3.2 Construcción
 - I.3.3 Operación
 - I.4 Fugas
- II. FUENTES DE ABASTECIMIENTO
 - II.1 Lerma
 - II.2 Cutzamala
 - II.3 Amacuzac
 - II.4 Tecolutla
 - II.5 Pozos Urbanos
- III. ACUAFERICO
 - III.1 Trazo
 - III.2 Estado Actual
- IV. MACROCIRCUITO
 - IV.1 Trazo
 - IV.2 Estado Actual
- V. UNION DEL ACUAFERICO Y MACROCIRCUITO
 - V.1 Resultado de la unión del acuaférico y macrocircuito
- VI. CONCLUSIONES



NOMBRE DEL DIRECTOR DEL TEMA

M. I. Arturo Nava Mastache


Marco Arturo Corona Ramírez
5581-8264



GLOSARIO

De acuerdo con lo que se expuso en la introducción se presenta el glosario de algunos de los términos que se encuentran en la tesis.

Acuífero: cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas subterráneas que puedan ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento.

Agua Cruda: El agua cruda es el agua tal como se encuentra en las fuentes, en estado natural, sin tratamiento. Se pueden identificar como fuentes de "agua cruda" a los cursos superficiales o subterráneos, entre ellos, los ríos, arroyos, lagos, lagunas y acuíferos, que el hombre usa como materia prima para abastecerse.

Aguas Negras: El término agua negra, más comúnmente utilizado en plural, aguas negras, define un tipo de agua que está contaminado con sustancias fecales y orina, procedentes de vertidos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación. A las aguas negras también se les llama aguas servidas, aguas residuales, aguas fecales, o aguas cloacales.

Aforo: mediciones realizadas en un cauce con el objetivo de obtener datos básicos para calcular el caudal que pasa por una sección transversal del mismo.

Cambio de almacenamiento: incremento o decremento del volumen de agua almacenada en la unidad hidrogeológica en un intervalo de tiempo cualquiera.

Cauce de una corriente: el canal natural o artificial que tiene la capacidad necesaria para que las aguas de la creciente máxima ordinaria escurran sin derramarse. Cuando las corrientes estén sujetas a desbordamiento, se considera como cauce el canal natural, mientras no se construyan obras de encauzamiento.

Cauce principal: el canal principal que capta y conduce el agua hasta la descarga de una cuenca.

Caudal base: gasto o caudal que proviene del agua subterránea.

Creciente máxima ordinaria: es la que ocurre dentro de un cauce sin que en éste se produzca desbordamiento, en un periodo de retorno de cinco años.

Cuenca hidrológica: el territorio donde las aguas fluyen al mar a través de una red de cauces que convergen en uno principal, o bien el territorio en donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciada de otras, aun sin que desemboquen en el mar. La cuenca, conjuntamente con los acuíferos, constituye la unidad de gestión del recurso hidráulico.

Cuencas homogéneas: son las cuencas hidrológicas en que, por tener características geomorfológicas, climatológicas, geológicas e hidrológicas similares, es válido transferir información hidrológica de una a otra.

Derrame de un embalse: es aquél que descarga a través de una obra de excedencias.

Descarga natural: volumen de agua que descarga una unidad hidrogeológica a través de manantiales, vegetación, ríos y humedales, o subterráneamente a cuerpos de agua (mares, lagos y lagunas).

Descarga natural comprometida: fracción de la descarga natural de una unidad hidrogeológica, que está comprometida como agua superficial para diversos usos o que debe conservarse para



prevenir un impacto ambiental negativo a los ecosistemas o la migración de agua de mala calidad a una unidad hidrogeológica.

Diversos usos: se refiere a todos los usos definidos en la Ley de Aguas Nacionales, como doméstico, agrícola, acuícola, servicios, industrial, conservación ecológica, pecuario, público urbano, recreativo y otros.

Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica: volumen medio anual de agua subterránea que puede ser extraído de una unidad hidrogeológica para diversos usos, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro el equilibrio de los ecosistemas.

Disponibilidad media anual de agua superficial en una cuenca hidrológica: valor que resulta de la diferencia entre el volumen medio anual de escurrimiento de una cuenca hacia aguas abajo y el volumen anual actual comprometido aguas abajo.

Escurrecimiento desde aguas arriba: es el volumen medio anual de agua que en forma natural proviene de una cuenca hidrológica ubicada aguas arriba de la cuenca o subcuenca en análisis.

Escurrecimiento natural: es el volumen medio anual de agua superficial que se capta por la red de drenaje natural de la propia cuenca hidrológica.

Evaporación: es el proceso por el cual el agua, en la superficie de un cuerpo de agua natural o artificial o en la tierra húmeda, adquiere la suficiente energía cinética de la radiación solar, y pasa del estado líquido al gaseoso.

Evapotranspiración: es la cantidad total de agua que retorna a la atmósfera en una determinada zona por evaporación del agua superficial y del suelo, y por transpiración de la vegetación.

Extracción de agua subterránea: volumen de agua que se extrae artificialmente de una unidad hidrogeológica para los diversos usos.

Extracción de agua superficial: volumen de agua que se extrae artificialmente de los cauces y embalses superficiales para los diversos usos.

Exportación: es el volumen de agua superficial o subterránea que se transfiere de una cuenca hidrológica o unidad hidrogeológica a otra u otras, hacia las que no drena en forma natural.

Hidrograma: representación gráfica de la variación del gasto o caudal con respecto al tiempo.

Importación: es el volumen de agua que se recibe en una cuenca hidrológica o unidad hidrogeológica desde otra u otras, hacia las que no drena en forma natural.

msmn: metros sobre el nivel del mar

Parteaguas: límite físico de una cuenca o subcuenca hidrológica, representado por la línea imaginaria formada por los puntos de mayor elevación topográfica, que las separa de las vecinas.

Programación hidráulica: conjunto de programas y estrategias, mediante los cuales se precisan los objetivos nacionales, regionales, estatales y locales de la política en la materia; las prioridades para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales; la conservación de su cantidad y calidad; los instrumentos para la implantación de acciones programadas; los responsables de su ejecución, y el origen y destino de los recursos requeridos.



Recarga total: volumen de agua que recibe una unidad hidrogeológica, en un intervalo de tiempo específico.

Retornos: son los volúmenes que se reincorporan a la red de drenaje de la cuenca hidrológica, como remanentes de los volúmenes aprovechados en los diferentes usos del agua.

Sumergencia: sumergible cuando hay una emergencia.

Subcuenca: fracción de una cuenca hidrológica, que corresponde a la superficie tributaria de un afluente o de un sitio seleccionado.

Transpiración: es el proceso por el cual la vegetación extrae humedad del suelo y la libera al aire circundante como vapor.

Unidad de gestión: territorio de la cuenca o subcuenca hidrológica superficial, o del acuífero o las unidades hidrogeológicas contenidas en ella, que se definen como una unidad para la evaluación, manejo y administración de los recursos hídricos.

Unidad hidrogeológica: conjunto de estratos geológicos hidráulicamente conectados entre sí, cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales subterráneas.

Volumen anual de extracción de agua superficial: cantidad de agua que se debe preservar para satisfacer los derechos de explotación, uso o aprovechamiento de agua asignada o concesionada, y para satisfacer las reservas establecidas conforme a la Programación Hidráulica.

TRADUCCION DE PALABRAS EN LATIN

Urbe condita

Desde la fundación de la Ciudad.

Calendas graecas

Literalmente, por el calendario griego. Máxima latina para expresar irónicamente que un asunto no se realizará nunca, pues los Griegos no tenían calendario.

Sic

Así escrito. Lo menciono en el apartado de introducción porque son muchas aguas, tenemos; aguas negras, agua residual, agua cruda, etc. Y en la CAEM hicieron esa corrección. Que era Comisión de Agua en singular.

Ad, Ab

Los escribo puesto que son artículos y en su caso están mal empleados si es que las palabras escritas anteriormente van solas.

También se hace hincapié en las unidades por que se escriben con minúscula y sin punto, solo van con mayúscula las que estén referidas a nombres propios como: Kelvin *K*, Volt *V*, Watt *W*, etc. Y como ya podemos escribir con superíndices en la computadora hay que poner a los metros cúbicos, y cuadrados como sigue, m³.



En lo que respecta a la grafía (,) es un separador de miles y a (.) lo que sea menor de 1, ejemplo: 1.50 significa, uno con cinco décimas de la unidad y 1,000 , es mil unidades.

El significado de las siglas que se utilizó:

CAEM Comisión Nacional del Agua
SACM Sistema de Aguas de la Ciudad de México
CNA Comisión Nacional del Agua
DGCOH Dirección General de Construcción y Obras Hidráulicas
SAHR Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos

Ø Diámetro



Es una corona de la cultura Azteca la cual se adoptó como símbolo de la familia.

**BIBLIOGRAFÍA****LIBROS**

- 1.- Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, Claudio Mataix, Oxford, México Julio 2007.
- 2.- Cómo se hace una Tesis, Humberto Eco, Gedisa, México 2006.
- 3.- Larousse Sinónimos/Antónimos, México Marzo 1988
- 4.- Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana 2002, INEGI, 2002.
- 5.- Situación del Subsector Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento a Diciembre 2004, CONAGUA, México 2005.
- 6.- Plan Maestro de Agua Potable 1997-2010, DDF-DGCOH, julio de 1997.

PUBLICACIONES DE LA SACM

- 7.- Acueducto Perimetral, DDF-DGCOH, sin fecha.
- 8.- Acueducto Perimetral (Método convencional y método con topo), DDF-DGCOH, sin fecha.
- 9.- Análisis del Comportamiento de Conducción del Túnel No. 5 del Acueducto Perimetral. Delegaciones Tlalpan y Xochimilco, EFE Asesores, Dic 2000.
- 10.- Trazo del Acueducto Perimetral, Ingeniería y Procesamiento Electrónico S.A. noviembre de 1988, planos.
- 11.- Acueducto Periférico -Ramal Sur, DIRAC, S.A. de C.V., México, enero 1984.
- 12.- Proyecto Ejecutivo de 6 Km del Túnel Para el Acuaférico, CONIISA, 1990.
- 13.- Acueducto Perimetral Proyecto de Desfogue del Sifón 1 en el Cerro del Judío, GIASA, México, sin fecha.
- 14.- Sipnosis Piezométrica del Valle de México, Lesser y Asociados SA de CV, México, 2000
- 15.- Compendio de los Servicios Hidráulicos de la Ciudad de México 2007; Gobierno del Distrito Federal, Secretaría del Medio Ambiente, Sistema de Aguas de la Ciudad de México, Julio 2007.



OBRA DE LA CAEM

16.- Línea de Conducción No. 2 y 3 del Macrocircuito del Ramal Norte del Sistema Cutzamala, Empresa de Estudios Económicos y de Ingeniería S.A. de C.V., octubre de 2004.

EDICIÓN DE LA CNA

17.- El Agua en México, CONAGUA, 2006.

PUBLICACIONES DE GRAVAMEX

18.- Sistema Cutzamala Agua para Millones de Mexicanos, CONAGUA, 2005.

TRÍPTICOS DE GRAVAMEX

19.- Sistema Cutzamala Planta Potabilizadora LOS BERROS, CNA SEMARNAT GRAVAMEX, sin fecha.

20.- Subsistema Chilesdo, CNA GRAVAMEX, sin fecha.

21.- Sistema Cutzamala Ramal Norte MACROCIRCUITO 1, CNA SEMARNAT GRAVAMEX, junio 1996.

22.- Planta Potabilizadora LOS BERROS, CNA GRAVAMEX, sin fecha.

23.- Sistema Cutzamala Ramal Norte MACROCIRCUITO 2, CNA GRAVAMEX, mayo de 1999.

PLANOS

-Planos de la SAGM y CAEM.

PUBLICACIONES EN INTERNET

www.cna.gob.mx

www.inegi.gob.mx

www.planeta.com

www.conagua.gob.mx

REVISTA

-México Sin Agua, Vértigo, Marzo 2007



IMÁGENES Y TABLAS

Numero	Descripción	Bibliografía*
INTRODUCCION		
0.1	Ciclo hidrológico del agua	Publicación de la SACM No. 7
0.2	La Urbe Metropolitana	Publicación de la SACM No. 7
0.3	La Gran Ciudad Tenochtitlan	Publicación de la SACM No. 7
0.4	Acueducto de Chapultepec	Publicación de la SACM No. 7
0.5	Pilas Comunitarias	Publicación de la SACM No. 7
0.6	Plan Maestro de Agua Potable	Compendio 2007 No. 15
0.7	Hundimiento de la Ciudad de México	Publicación de la SACM No. 7
Numero	Descripción	Bibliografía*
INTRODUCCION		
0.1	Ciclo Hidrológico del Agua	Publicacion SACM No. 7
0.2	La Urbe Metropolitana	Publicacion SACM No. 7
0.3	La Gran Ciudad Tenochtitlan	Publicacion SACM No. 7
0.4	Acueducto de Chapultepec	Publicacion SACM No. 7
0.5	Pilas Comunitarias	Publicacion SACM No. 7
0.6	Plan Maestro de Agua Potable	Publicacion SACM No. 7
0.7	Hundimiento de la Ciudad de México	Publicacion SACM No. 7
CAPITULO I ANTECEDENTES		
I.1	Localización del Distrito Federal y Cuenca del Valle de México	Plan Maestro No. 6
I.1.1	Cuenca del Valle de México	Sistema Cutzamala No. 7
I.1.2	Delegaciones Políticas del Distrito Federal	Plan Maestro No. 6
I.1.2.1	Población en el Distrito Federal	Compendio 2007 No. 15
I.1.2.2	Proyección de Población en el Distrito Federal	Compendio 2007 No. 15
I.1.2.3	Delegaciones con Población	Compendio 2007 No. 15
I.1.2.4	Población por Delegación	Compendio 2007 No. 15
I.1.2.5	Área por Delegación	Compendio 2007 No. 15
I.1.2.6	Dotación de Agua Potable	Compendio 2007 No. 15
I.1.2.7	Distribución Espacial de la Dotación	Compendio 2007 No. 15
I.1.4.1	La Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM)	INEGI No. 4
I.2.1	Salida Al Acuaferico y Macrocircuito	Plano obtenido en la SACM
I.2.1.1	Planta y Perfil del Acuaferico	Al. del C. de C. del Túnel No. 5 No. 9*
I.2.1.2	Segunda Etapa del Acuaferico	Plano obtenido en la SACM**
I.2.1.3	Planta y Perfil de la 2da. Etapa del Acuaferico	Al. del C. de C. del Túnel No. 5 No. 9*
I.2.1.4	Planta y Perfil de la Tercera Etapa	Al. del C. de C. del Túnel No. 5 No. 9*
I.2.1.5	3era. etapa del Acuaferico en detalle tramo Hipocampo-El Cantil	Plano obtenido en la SACM**
I.2.1.6	3era. Etapa del Acuaferico detalle tramo El Cantil-Topilejo	Plano obtenido en la SACM**
I.2.1.7	Cuarta Etapa Planta	Sistema Cutzamala No. 18
I.2.1.8	Perfil de la Cuarta Etapa	Plano obtenido en la SACM**
I.2.1.9	Planta de la Quinta Etapa	Sistema Cutzamala No. 18
I.2.1.10	Grafica de Caudales	Plano obtenido en la SACM**
I.2.2.1	Planta de las Trifurcaciones del Sist. Cutz. Sur	Al. del C. de C. del Túnel No. 5 No. 9*
I.2.2.2	Planta de la Derivación del Acuaferico	Al. del C. de C. del Túnel No. 5 No. 9*
I.2.2.3	Barrenos en el Frente de Excavación	Publicacion SACM No. 7
I.2.2.4	Colado de Túnel con Cimbra Telescopica	Publicacion SACM No. 7
I.2.2.5	Maquina Perforadora de Túneles	Publicacion SACM No. 7
I.2.2.6	Encuentro de 2 Túneles, Derivación 3 y 4	Publicacion SACM No. 7
I.2.2.7	Arribo de Topo a la Derivación 3	Publicacion SACM No. 7
I.2.2.8	TUNEL EN OPERACION DEL ACUAFERICO	Publicacion SACM No. 7
I.3.2.1	Tanque Coacalco	Triptico Ramal Norte Macrocircuito 1 No. 20
I.3.2.2	Conducción Barrientos-Coacalco	Triptico Ramal Norte Macrocircuito 1 No. 20
I.3.2.3	Tubería Pretensada Coacalco-Cerro Gordo	Triptico Ramal Norte Macrocircuito 2 No. 22
I.3.2.4	Cruce del Macro. por debajo de la carretera México-Pachuca	Triptico Ramal Norte Macrocircuito 2 No. 22
I.3.2.5	Protección Anticorrosiva de Tubería de Acero	Triptico Ramal Norte Macrocircuito 2 No. 22
I.3.2.6	Tubería de Concreto Preesforzado	Triptico Ramal Norte Macrocircuito 2 No. 22
I.3.2.7	Conexión al Tanque Cerro Gordo	Triptico Ramal Norte Macrocircuito 2 No. 22
I.3.2.8	Construcción del Macro circuito	Fotografías obtenidas de la CAEM
I.3.2.9	Construcción del Macro circuito	Fotografías obtenidas de la CAEM
I.3.2.10	Construcción del Macro circuito	Fotografías obtenidas de la CAEM
I.3.2.11	Construcción del Macro circuito	Fotografías obtenidas de la CAEM
I.3.2.12	Sección Constructiva Geometría Zanja Tipo	Plano obtenido en la CAEM**
I.3.2.13	Línea de conducc. Toma 4-Tanque Bellavista	Plano obtenido en la CAEM**
I.3.2.14	Línea de conducc. Tanque Bellavista-Providencia	Plano obtenido en la CAEM**
I.3.2.15	Línea de conducc. Providencia-La Caldera	Plano obtenido en la CAEM**
I.4.1	Fugas Eliminadas	Compendio 2007 No. 15
I.4.2	Detección de Fugas	Compendio 2007 No. 15



Tab. Num.	Descripción	Bibliografía*
CAPÍTULO I ANTECEDENTES		
Tab. I.11	Cuenca del Valle de México	Publicación de la SACM No. 7
Tab. I.13.1	Municipios Conurbados	INEGI No. 4
Tab. I.2.1	Longitud del Acuaférico Primera Etapa	Publicación de la SACM No. 7
Tab. I.2.2	Sifones del Acuaférico Primera Etapa	Publicación de la SACM No. 7
Tab. I.2.3	Longitud del Acuaférico Segunda Etapa	Publicación de la SACM No. 7
Tab. I.2.4	Sifones del Acuaférico Segunda Etapa	Compendio 2007 No. 15
Tab. I.2.5	Longitud del Acuaférico Tercera Etapa	Publicación de la SACM No. 7
Tab. I.2.6	Principales Especificaciones Técnicas del Equipo	Publicación de la SACM No. 7
Tab I.3.1	Municipios Conurbados que se beneficiarán con el Macrocircuito	Conducción No. 2 y 3 del Macrocircuito No. 16
Número	Descripción	Bibliografía*
CAPÍTULO II FUENTES DE ABASTECIMIENTO		
II.11	Equipos de la Planta de Bombeo No. 5	Sistema Cutzamala No. 18
II.12	Tubería de Baja Presión	Sistema Cutzamala No. 18
II.13	Canal Ing. Martínez de Mesa	Sistema Cutzamala No. 18
II.14	Subestación Eléctrica Donato Guerra	Sistema Cutzamala No. 18
II.15	Recepción de Aguas Crudas	Sistema Cutzamala No. 18
II.16	Planta de Bombeo No. 2	Sistema Cutzamala No. 18
II.17	Entrada al Túnel "Agua Escondida"	Sistema Cutzamala No. 18
II.18	Planta de Bombeo No. 3	Sistema Cutzamala No. 18
II.19	Canal Abierto Donato Guerra	Sistema Cutzamala No. 18
II.110	Presa Chilesdo	Sistema Cutzamala No. 18
II.111	Planta de Bombeo No. 6	Sistema Cutzamala No. 18
II.112	Cruce del Río Lerma	Sistema Cutzamala No. 18
II.113	Cruce de la Barranca Los Berros	Sistema Cutzamala No. 18
II.114	Sistema Cutzamala Planta y Perfil	Sistema Cutzamala No. 18
II.115	Certificación ISO-9001	Sistema Cutzamala No. 18
II.116	Presa Valle de Bravo	Sistema Cutzamala No. 18
II.117	Presa Colorines	Sistema Cutzamala No. 18
II.118	Presa Chilesdo (acercamiento)	Sistema Cutzamala No. 18
II.119	Presa Villa Victoria	Sistema Cutzamala No. 18
II.120	Presa Valle de Bravo (acercamiento)	Sistema Cutzamala No. 18
II.111	Planta Potabilizadora Los Berros	Trip. Los Berros No. 19
II.112	Módulos de Potabilización	Trip. Los Berros No. 19
II.113	Almacén II sulfato de Aluminio	Trip. Los Berros No. 19
II.114	Filtros	Trip. Los Berros No. 19
II.115	Sedimentación	Trip. Los Berros No. 19
II.116	Tanque de Agua Cruda	Trip. Los Berros No. 22
II.117	Consola de Lavados	Trip. Los Berros No. 22
II.118	Espesador de Lodos	Trip. Los Berros No. 22
II.119	Croquis del Sistema Cutzamala	Trip. Los Berros No. 22
II.1110	Planta Potabilizadora Los Berros (vista aérea)	Trip. Los Berros No. 22
II.1111	Croquis de la Planta Potabilizadora Los Berros	Trip. Los Berros No. 22
II.12.1	Chilesdo Subestación Eléctrica	Trip. Subsistema Chilesdo Los Berros No. 20
II.12.2	Chilesdo Equipo de Bombeo PB 6	Trip. Subsistema Chilesdo Los Berros No. 20
II.12.3	Chilesdo Planta de Bombeo No. 6	Trip. Subsistema Chilesdo Los Berros No. 20
II.12.4	Presa Chilesdo	Trip. Subsistema Chilesdo Los Berros No. 20
II.2.1	Cuenca de Lerma	www.cna.gob.mx
II.2.2	Mapa de Regiones Hidrológicas de Lerma	www.cna.gob.mx
II.2.3	Gráfica de Lluvia Media Histórica	www.cna.gob.mx
II.2.4	Tipos de Suelos en la Cuenca de Lerma	www.cna.gob.mx
II.3.1	Amacuzac Localización	www.cna.gob.mx
II.3.2	Amacuzac Presa 1	www.cna.gob.mx
II.3.3	Amacuzac Presa 2	www.cna.gob.mx
II.5.1	Pozos	Compendio 2007 No. 15



Tab. Num.	Descripción	Bibliografía*
CAPÍTULO II FUENTES DE ABASTECIMIENTO		
Tab. II.2.1	Parametros de Alertamiento, Escales y Gastos Máximos de estaciones de la Cuenca del Río Lerma	www.cna.gob.mx
Tab. II.2.2	Análisis Estadísticos de Gastos	www.cna.gob.mx
Tab. II.2.3	Consumo de Energía en Fuentes Futuras de Suministro	www.cna.gob.mx
Número	Descripción	Bibliografía*
CAPÍTULO III ACUAFÉRICO		
III.1	ACUAFÉRICO	Publicacion de la SACM No. 7
Tab III.2.1	Gastos Manejados Actualmente en el Acuaferico	Publicacion de la SACM No. 9
Tab III.2.2	Gastos a Derivar por el Acuaferico	Publicacion de la SACM No. 9
Tab III.2.3	Variables existentes en el Acuaferico	Publicacion de la SACM No. 9
Tab III.2.4	Tirantes y Velocidades en la Tercera Etapa	Publicacion de la SACM No. 9
Tab III.2.5	Tirantes existentes en la Tercera Etapa	Publicacion de la SACM No. 9
Tab III.2.6	Estado Actual del Acuaferico	SACM
CAPÍTULO IV MACROCIRCUITO		
IV.1	Plano Toma 4 - Tanque Bellavista	Plano obtenido en la CAEM
IV.2	Plano Tanque Providencia -	Plano obtenido en la CAEM
IV.3	Plano Tanque Bellavista - Tanque Providencia	Plano obtenido en la CAEM
IV.4	Plano Tanque Providencia - Tanque La Caldera	Plano obtenido en la CAEM
IV.5	Estado Actual del Macro circuito	Plano obtenido en la CAEM
CAPÍTULO V UNIÓN DEL ACUAFÉRICO Y MACROCIRCUITO		
V.1	Planta General de Unión del Acuaferico y Macro circuito	Plano obtenido de la SACM
V.2	Acuaferico y Macro circuito planta	Sistema Cutzamala No. 18**
Tab. V.1	Gastos del Acuaferico	Autor
Graf. V.1	Gastos vs Elevación del Acuaferico	Autor
Tab. V.2	Gastos del Macro circuito	Autor
Graf. V.2	Gastos vs Elevación del Macro circuito	Autor
Tab V.3	Perfil Real del Acueducto Perimetral	Autor
Graf V.3	Perfil Real del Acuaferico	Autor
Graf V.4	Perfil Real del Macro circuito	Autor
Graf. V.5	Perfil Real del Acueducto Perimetral de la ZMCM	Autor
CONCLUSIONES		
c. 1	Caudales promedio de agua potable aportados	Compendio 2007 No. 15
c. 2	Acciones Relevantes entre 1995-2006	Compendio 2007 No. 17

*En la Bibliografía pueden referirse en la parte superior con su número correspondiente, donde se encuentran todos sus datos.

**Para estos casos el autor hizo las pertinentes modificaciones, sin alterar la información.