



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS**

**L**as autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del jefe de la División de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso.

El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona que le entregó las notas. Las inasistencias serán computadas por las autoridades de la División, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo de 80% de asistencias.

Pedimos a los asistentes recoger su constancia el día de la clausura. Estas se retendrán por el periodo de un año, pasado este tiempo la DECFI no se hará responsable de este documento.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece la División están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados, constituyendo verdaderos seminarios.

Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.

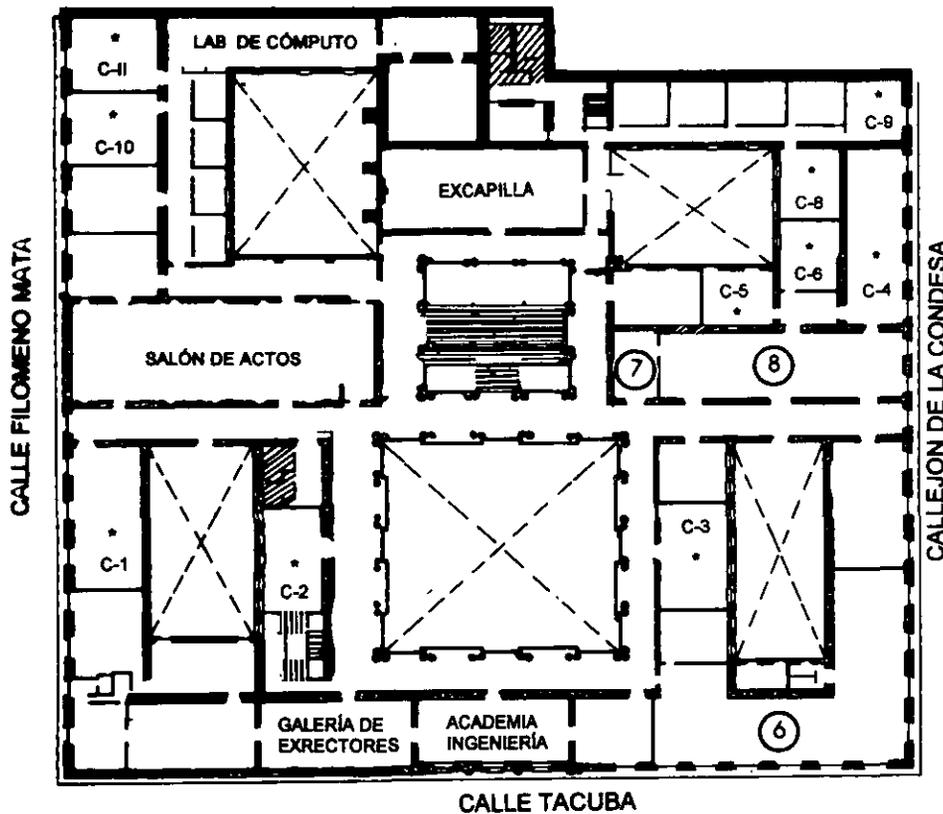
Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.

Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.

**Atentamente**

**División de Educación Continua.**

# PALACIO DE MINERÍA



**1er. PISO**

## GUÍA DE LOCALIZACIÓN

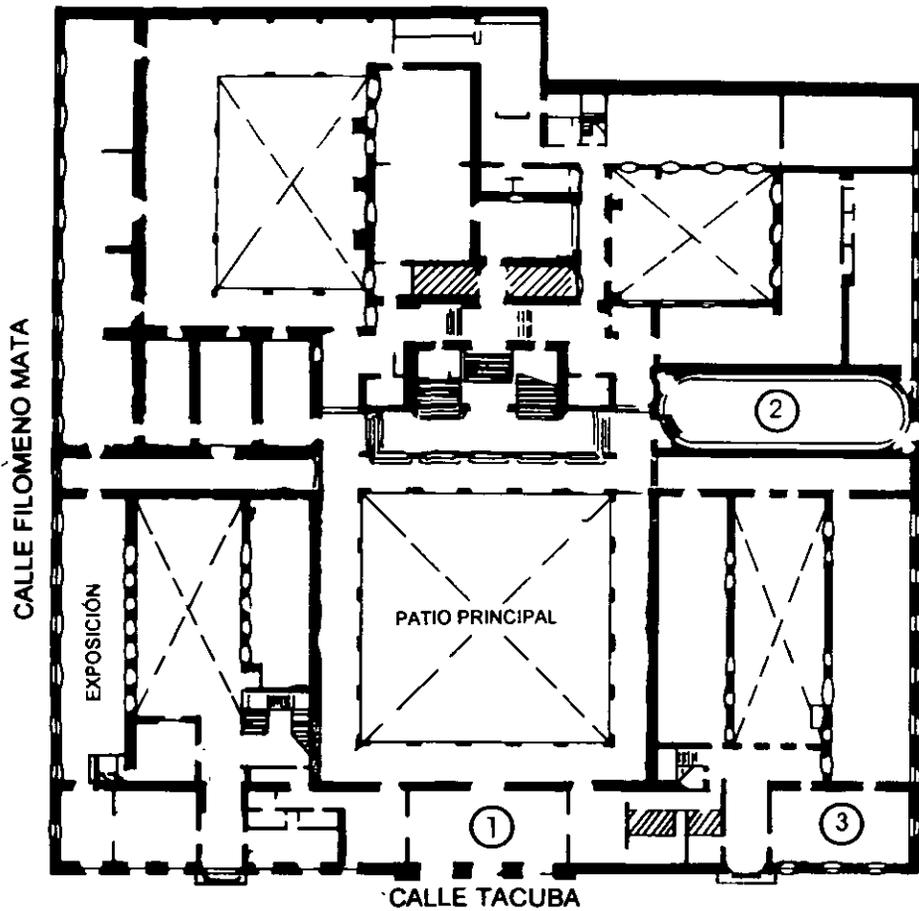
1. ACCESO
  2. BIBLIOTECA HISTÓRICA
  3. LIBRERÍA UNAM
  4. CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN  
"ING. BRUNO MASCANZONI"
  5. PROGRAMA DE APOYO A LA TITULACIÓN
  6. OFICINAS GENERALES
  7. ENTREGA DE MATERIAL Y CONTROL DE ASISTENCIA
  8. SALA DE DESCANSO
- SANITARIOS
- \* AULAS



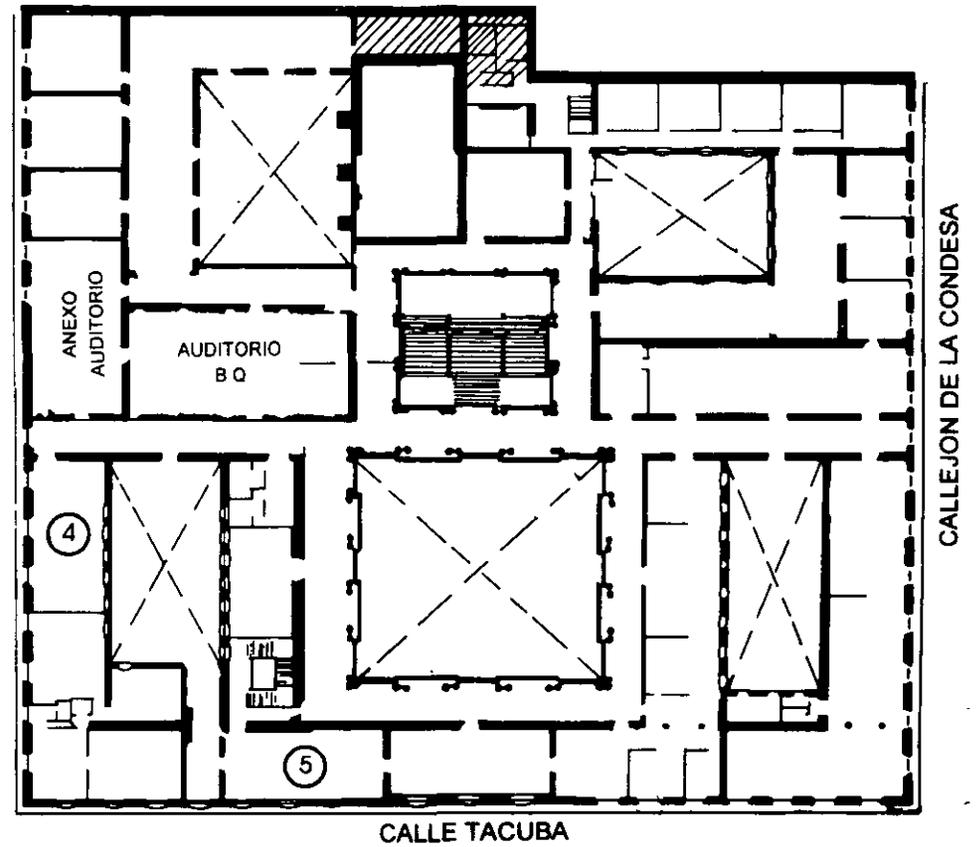
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.A.M.  
CURSOS ABIERTOS



# PALACIO DE MINERIA



PLANTA BAJA



MEZZANINNE



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS INSTITUCIONALES  
COMISIÓN DEL AGUA DEL ESTADO DE MÉXICO**

**HIDROLOGIA URBANA**  
Del 11 al 15 de octubre de 1999.

*Apuntes Generales*

Ing. Gabriel Lorenzo Páramo  
Palacio de Minería  
1999.

## **ANTECEDENTES**

### **1. A NIVEL NACIONAL**

Desde su origen, las culturas mexicanas se enfrentaron a la necesidad de controlar y aprovechar el agua. La íntima relación entre su desarrollo y la obra hidráulica quedó plasmada en las obras de riego y control del Valle de Anáhuac. Los Mexicas tenían sistemas de irrigación permanente con presas, canales de tierra y piedra con estuco, acueductos y redes de acequias. Utilizaban también sistemas de riego temporal en ríos permanentes, para lo cual hacían presas de tierra, pasto, troncos, varas y piedras, y canales de tierra; estas instalaciones implicaban la conducción artificial de las avenidas en tiempo de lluvias. Desarrollaron también las chinampas en las que combinaban el riego manual con el riego por infiltración.

Los mayas protegían sus tierras de la erosión con terraplenes agrícolas y paredes de piedra para sostener la tierra. También hacían sistemas de desagüe, y obras para desviar las corrientes de los ríos.

Poco antes de la conquista, los lagos del Valle de Anáhuac estaban divididos en varios compartimientos, por diques, calzadas y albarradas. Sus funciones eran el control del flujo de las aguas de los lagos y ríos para evitar inundaciones, y la desalación de todo el sistema, así como la construcción de chinampas mediante el drenaje de grandes zonas lacustres.

A las obras hidráulicas de la Conquista, que aseguraron el abasto a la Ciudad de México, siguieron las del Virreinato, que permitieron el establecimiento de ciudades mineras, emporios agrícolas y puertos en ambos océanos.

Entre los siglos XVIII y XIX, la agricultura experimentó un desarrollo importante, impulsado por el crecimiento demográfico, minero, mercantil y manufacturero de la época. En su apoyo se construyeron presas, casi todas de mampostería, en el territorio de los actuales estados de Aguascalientes, Guanajuato, México y Querétaro.

Después de un período de consolidación como país independiente, la obra hidráulica cobró un nuevo auge. Primero, para resolver los problemas de abasto a las principales ciudades, posteriormente, para el desarrollo de la agricultura por los particulares.

Hacia 1919 estas obras de particulares permitían el riego de 800 mil hectáreas; la intervención del Gobierno se reducía, principalmente, al financiamiento de las obras y a otorgar concesiones por el uso de las aguas nacionales. También hacia 1910, el país contaba con 177 centrales hidroeléctricas. En ese mismo año se inició la construcción de la presa La Boquilla que, al terminarse en 1915, fue la más grande del mundo.

Con base en los principios rectores establecidos por la Constitución de 1917, se promulgó la Ley sobre Irrigación con Aguas Federales de 1926 y se creó, en el mismo año, la Comisión Nacional de Irrigación.

Las primeras acciones de esta dependencia se orientaron hacia la construcción de infraestructura de riego a lo largo de la frontera norte, con el fin de fortalecer el desarrollo económico y social de esa región e integrarla a la economía nacional. Al mismo tiempo, en el centro, se mejoraron algunos sistemas antiguos deteriorados durante la Revolución.

A partir de 1935 se inició el desarrollo de la pequeña irrigación. De esta manera, el Estado abrió amplias zonas de riego en La Laguna y el Bajío, y buscó una mejor distribución territorial de la inversión. Para 1940 se disponía ya de mayor información climatológica, hidrológica, geohidrológica, geológica topográfica, que facilitaba la realización de nuevos proyectos. En esos años la Comisión Nacional de Irrigación tomó a su cargo la operación de los 44 distritos de Riego existentes en esa época, y planteó su paulatina entrega a los usuarios. Al término de su vida institucional, en 1946, la Comisión había desarrollado 775 mil hectáreas en distritos de riego y más de 42 mil mediante obras de pequeña irrigación. La capacidad de almacenamiento en las presas había alcanzado los 12 mil millones de metros cúbicos.

La creación de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, en 1947, que absorbe a la Comisión Nacional de Irrigación, marca el inicio de una acción gubernamental más amplia para el desarrollo integral de los recursos hidráulicos. En ese mismo año se inició el establecimiento de Comisiones Ejecutivas para impulsar el desarrollo hidráulico de las

principales cuencas del país. Durante esos años sobresalieron las grandes obras que permitieron beneficiar, a bajos costos relativos, amplias superficies. La disponibilidad de agua permitió a los agricultores adoptar innovaciones tecnológicas y obtener el financiamiento necesario para las prácticas intensivas. La pequeña irrigación se impulsó para mejorar la distribución de la inversión pública y fomentar el desarrollo de la agricultura comercial.

El creciente desarrollo, indujo la necesidad de una mayor atención a la correcta administración del recurso y a la preservación de su calidad. Se promulgó así la Ley Federal de Aguas de 1972 y en 1975 se creó el Plan Nacional Hidráulico.

Para 1976 la obra hidráulica había extendido sus beneficios por todo el país. Las presas construidas en los principales ríos incrementaron la capacidad de almacenamiento a 125 mil millones de metros cúbicos y la superficie de riego alcanzó 4 millones 850 mil hectáreas.

La construcción de presas con propósitos múltiples permitió también incrementar la capacidad de generación de energía eléctrica y proteger contra inundaciones a las poblaciones y áreas productivas más afectadas. También hacia 1976, se tenía una capacidad instalada en hidroeléctricas cercana a los cinco mil megawatts.

En 1976 se fusiona la antigua Secretaría de Agricultura y Ganadería con la de Recursos Hidráulicos, para formar la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. En esta nueva institución prosigue la labor constructiva, si bien en condiciones restrictivas que se acentuaron con la crisis financiera de los ochenta.

Entre 1976 y 1988 la obra hidroagrícola dio un fuerte impulso al desarrollo del sistema hidráulico del noroeste. Se continuaron también las obras de pequeña irrigación y se inició el Programa de Desarrollo Rural Integrado del Trópico Húmedo (PRODERITH), con miras a incorporar el desarrollo social y productivo a poblaciones tradicionalmente marginadas que se asientan en nuestras regiones húmedas y subhúmedas.

Además de las grandes presas con fines de riego, destacan otras de usos múltiples para generación de energía eléctrica y control de avenidas. El crecimiento urbano demandó

también la construcción de importantes acueductos que hoy forman parte del acervo de la ingeniería hidráulica del país.

En 1989, se crea la Comisión Nacional del Agua para instrumentar una nueva política del agua que reconoce el valor real de este recurso y la responsabilidad compartida de garantizar su uso eficiente y la conservación de su calidad. La Comisión nació con el propósito de dar unidad y congruencia a las acciones del Gobierno Federal en materia de agua.

Para cumplir con sus atribuciones y responsabilidades, la Comisión Nacional del Agua integra su acción constructora en torno a dos áreas fundamentales: Infraestructura hidroagrícola y abastecimiento de agua a poblaciones e industrias. La estructura ejecutiva se apoya en las áreas de administración del agua y planeación y finanzas.

La Comisión contempla el manejo del recurso por regiones hidrológicas, con lo cual proporciona las bases para la concertación con las entidades federativas y usuarios que comparten los mismos recursos. Asimismo, cuenta con unidades administrativas a nivel estatal, para recoger y canalizar eficazmente las demandas locales y resolver los problemas específicos en cada entidad federativa.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua que, ligado estrechamente a la Comisión Nacional del Agua en los problemas hidráulicos prioritarios, impulsa la investigación y la adecuación de tecnologías para apoyar el desarrollo sostenible del sector, así como la capacitación y preparación adecuada de los responsables del manejo del agua y de los usuarios del recurso.

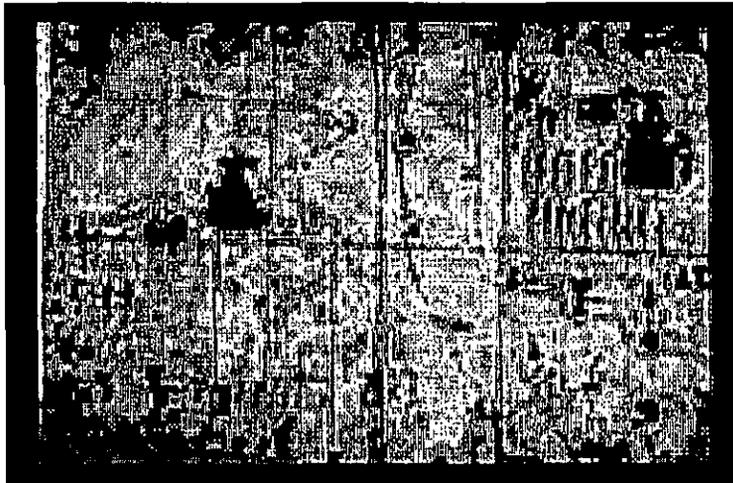
La nueva infraestructura se desarrolla en el marco de los programas nacionales de Irrigación y Drenaje y Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Otras acciones específicas se atienden con programas para el Uso eficiente del Agua y la Energía, la Modernización y Transferencia de Distritos de Riego, el Agua Limpia, el Saneamiento de Cuencas, la Modernización de la Redes Hidrometeorológicas, y con el Desarrollo del Sistema Financiero del Agua. Todas estas acciones presentan hechos y realizaciones concretas en torno a los grandes objetivos del sector.

Para lograr congruencia con los esquemas de responsabilidad compartida entre la federación, los estados, los municipios y los usuarios, se ha realizado una importante adecuación del marco jurídico del sector agua. La nueva Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento y la Ley de Derechos, permiten regular el aprovechamiento y preservación del agua y garantizar una mayor equidad en el uso de un recurso que es patrimonio de todos los mexicanos de las generaciones actuales y futuras.

Al mismo tiempo, al crearse el Registro Público de Derechos de Agua se establece el marco de referencia para regular y dar legitimidad al mercado del agua.

## 2. CIUDAD DE MÉXICO

Hace más de siete siglos, aproximadamente en 1267, llegaron a la cuenca de México los Aztecas, quienes al intentar establecerse en la zona lacustre recibieron de los pueblos que ahí se encontraban rechazos y ataques. Obedeciendo una profecía de su deidad y guiados por su sacerdote lograron encontrar y hacerse del sitio predestinado: un islote de poca extensión que apenas rebasaba el nivel del lago, sobre un peñasco sobresalía un tunal en el cual se posaba un águila devorando una serpiente, que identificaron como la señal dada por su dios para posesionarse del islote. Con carrizos, barro y yerba levantaron un templo y construyeron sus primeras chozas; ese fue el origen de la Gran Tenochtitlán, cuya fantástica presencia, siglos más tarde, dejó admirados a los conquistadores españoles. Sin embargo, después de medio siglo los mexicas aun aceptaban, para sobrevivir, la supremacía del señorío de Azcapotzalco, de la que no se liberarían sino hasta 1428.



En 1428, al liberarse del dominio del señorío de Azcapotzalco, los mexicas decidieron edificar una ciudad que fuera la sede de su señorío, por lo que adquirieron de los pueblos ribereños maderos y piedras, trocándolos por el producto de su pesca. Con inigualable tenacidad ampliaron el islote acumulando lodo y piedras sobre balsas de junco, que después hundían; una vez que la isla artificial sobresalió del espejo de agua formaron canales al hacer bordes paralelos dentro del lago; terraplenaron las orillas de la isla y construyeron puentes y calzadas; de las dispersas chozas entre tulares desarrollaron tiempo después Tenochtitlán. A partir de la pictografía y descripción de la ciudad, algunos historiadores estiman 100,000 chinampas de tres a diez ocupantes cada una,

calculándose así 300,000 habitantes, cifra imprecisa pero que revela la magnitud de la urbe azteca.

## **Epoca virreinal**

A la caída de la Gran Tenochtitlán el 13 de agosto de 1521 sólo quedaron ruinas y sobre ellas se erigió una nueva ciudad. Con ello, y con el afán de engrandecerla, continuó la lucha del hombre contra el agua, así como por el agua para su abastecimiento.

En 1576 se adquirieron los manantiales de Santa Fé. Después, entre 1605 y 1607, se inició el acueducto de la Tlaxpana con más de 900 arcos y el mismo trazo del anterior, con longitud de 6 km, concluyéndose en 1620. Tenía dos conductos, uno para el agua gorda de Chapultepec, abajo, y otro para la de Santa Fé arriba, con agua delgada; descargaba primero en la Tlaxpana y después en la fuente de la Mariscala.

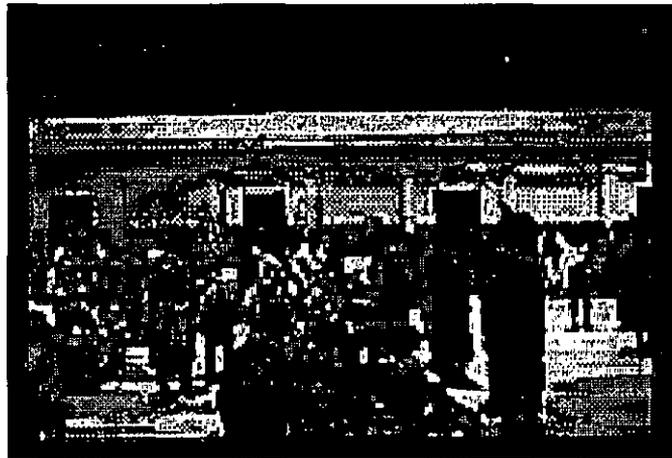
Del agua que llegaba por los acueductos para el servicio doméstico, solamente las casas principales, algunos conventos y edificios públicos tenían ductos subterráneos para recibirla en volumen, de acuerdo con la capacidad de los mismos. La mayor parte de los habitantes que carecían de dicho sistema se proveían de los aguadores, quienes transportaban depósitos o tinajas de barro en sus trajineras a lo largo de las acequias.

En 1607 se planeó llevar a cabo el desagüe de los lagos desviando el río Cuautitlán, que por ser el más caudaloso significaba el mayor peligro por el aumento de nivel en los lagos. Muchos presentaron proyectos para el desagüe; sin embargo, uno de ellos, el de Enrico Martínez, consistente en un socavón entre Huehuetoca y Nochistongo -lugar ya fuera de la cuenca-, fue el que se aprobó.

La orden del virrey Luis de Velasco de 23 de octubre de 1607 sobre la ejecución de la obra para el desagüe del Valle de México fue la aceptación del proyecto de Enrico Martínez, quien propuso "que se hiciera el desagüe por la parte de la laguna de San Cristobal Ecatepec, pueblo de Huehuetoca y el sitio nombrado de Nochistongo, mandando que se hiciera de manera de recorrer el agua desde la laguna de Citlaltepec".

Los trabajos los inauguró el virrey Luis de Velasco el 29 de noviembre de 1607, y el 17 de septiembre de 1608 el agua atravesó las obras desde el lago de Zumpango, a través de 13,332 m de longitud. En su época -se derrumbó poco después- fue una obra hidráulica que admiró a todos y por mucho tiempo se consideró portentosa.

Entre 1702 y 1711 el acueducto de Santa Fé se había deteriorado, habiéndose mandado reparar por cuenta de los usuarios de agua para riego y molinos, con lo cual se inició en la ciudad el cobro del servicio para obras colectivas. Por otro lado, la insuficiencia de agua obligó a evitar el desperdicio, el robo de ella y la destrucción de las obras, mediante la imposición de multas a los que eran sorprendidos en el hecho.

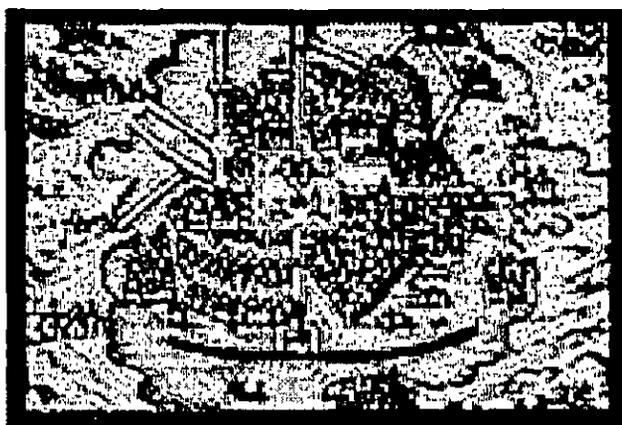


En 1714 se amplió la captación de los manantiales de Chapultepec para combatir la escasez del suministro. Para las poblaciones cercanas a la capital se construyeron de 1740 a 1770 acueductos especiales: Tlalpan (San Agustín de las Cuevas), San Ángel y Guadalupe (del río Tlanepantla). Años más tarde, en 1738 dio principio la construcción del acueducto de Belem para cubrir el sur y surponiente de la ciudad, se demolió el original, reconstruyéndose hasta después de 20 años; partía del manantial de Chapultepec y terminaba en el Salto del Agua; subsisten algunos arcos en la Av. Chapultepec.

Las catástrofes no abandonaban a la urbe: nuevas inundaciones se presentaron en 1707 y 1714, y otras en 1747 y en 1764. En 1767 intervino el presbítero, escritor y científico José Antonio Alzate, recomendando abrir tajos al noreste y noroeste, y un socavón al sur

o sureste de la ciudad, además sugirió investigar los sumideros de los que desde siglos antes se tenían noticias.

Tras de 157 años de iniciado se terminó el tajo el 29 de octubre de 1788; pese a ello la capital volvió a cubrirse de agua por los aguaceros de 1792, culpándose al entubado de las acequias: En 1795 se repitió el problema por la misma causa; a eso contribuyó que el canal excavado por Enrico Martínez para desaguar la laguna de Coyotepec fue abandonado y cerrado, azolvándose la laguna; en ese año se derramó el agua sobre San Cristóbal y Texcoco.

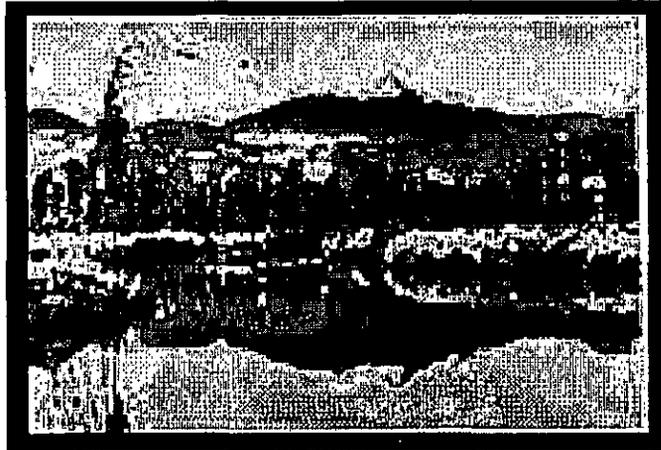


### **Epoca independiente**

Con motivo de la invasión estadounidense, en 1847, se intentó inundar el oriente de la ciudad para detener a las tropas extranjeras, lo que sólo produjo deterioro de las obras. Una vez establecidos los norteamericanos en la Ciudad de México, las autoridades comisionaron a dos expertos hidráulicos, los ingenieros Francisco de Garay y M. L. Smith para dar una solución al desagüe total de la cuenca; sin embargo, ninguna acción nueva se emprendió, hasta 1853 cuando se creó el Ministerio de Fomento.

Una respuesta de evacuación se aplicó en 1856 con la construcción del canal de Garay y una compuerta en Mexicaltzingo para operar los volúmenes de agua hacia el canal de la Viga. Así permanecieron las cosas hasta el Segundo Imperio, durante el cual los ingenieros Francisco Díaz Covarrubias y Ramón Almaraz fueron comisionados para levantar una carta hidrográfica y, con motivo de las inundaciones de 1865, se nombró a

Francisco de Garay director general del desagüe del Valle de México, quien presentó un proyecto que consistía principalmente en desaguar por Tequixquiac con un gran canal y un túnel para abrir la cuenca en un nuevo sitio. Al mismo tiempo, se comisionó al Ing. Miguel Iglesias para comprar en Europa la maquinaria, pero los trabajos fueron suspendidos en 1867, por la caída del Imperio.



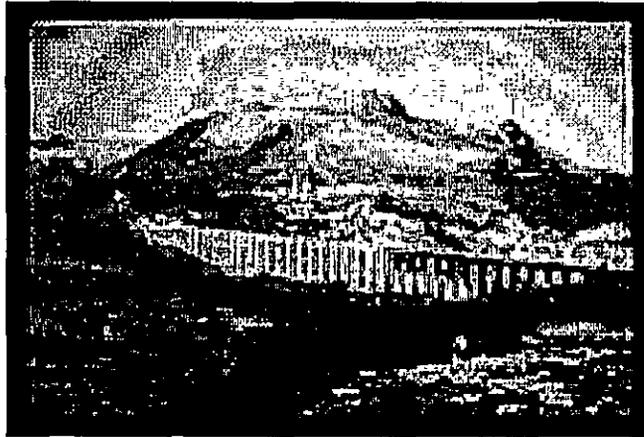
Durante la República restaurada en 1868 se reanudaron las obras siendo ministro de Fomento Blas Balcárcel, y el Ing, Jesús P. Manzano director de las obras; se recibió la maquinaria adquirida en Europa y se creó un impuesto especial para sufragar gastos; nuevamente se consideró el proyecto del Ing. De Garay, y aunque tuvo detractores fue aceptado, aunque poco se avanzó debido a la revuelta de la Noria.

Con el Ing. De Garay como director de las obras se reanudaron los trabajos, pero con tantos problemas, especialmente políticos, que se optó por concesionar las labores de desálojo masivo, Eso fue hasta cierto punto práctico al avanzar por programación, más aún que en 1884 se creó la Junta Directiva del Desagüe del Valle de México.

Las empresas extranjeras se retiraron en 1894 para dejar a la Junta la terminación del túnel, con longitud de 10 km, que se concluyó en 1889.

La originalidad del proyecto de alcantarillado urbano de Gayol consistía en un sistema combinado de cinco colectores que cruzaban la ciudad de poniente a oriente: dos al norte (el número 1 en la calle de Honduras y el 3 en las calles de Bocanegra y Matamoros); uno central, localizado a lo largo de Tacuba y dos al sur (el número 2 en República de El

Salvador y el 4 en Fray Servando Teresa de Mier); descargaban en el colector general del norte, en las calles de Imprenta y Av. del Taller, y en el colector general del sur en la calle de Morazán, para evacuar ambos por gravedad al Gran Canal. Después de discutirse durante seis años, el proyecto se inició en 1895.



Ante las ventajas de las tuberías de fierro fundido, las autoridades propusieron la sustitución de los arcos por ductos subterráneos, para lo cual se demolió el acueducto y la caja de agua del acueducto de la Mariscalá en 1852, y la instalación de tubería de fierro se terminó en 1899. El acueducto de Belem también fue derruido, se suplió con tuberías de fierro y se instaló una bomba para distribución, pero no fue suficiente.

En realidad esas obras de modernismo en nada aumentaron el abasto hidráulico, pues el problema estaba en que el volumen era cada vez más escaso; al respecto, ante la escasez que se presentó en 1878 hubo necesidad de recurrir al aprovechamiento de los manantiales del Desierto de los Leones que, con motivo de la Ley de Expropiación de Agua, el Ayuntamiento pagó para calmar las reclamaciones de los anteriores usuarios.

Al seguir aumentando la demanda se optó por adquirir agua de ranchos circunvecinos como el de Molino Blanco, Olivar de Vidal, Prieto y Atoto; se siguió adquiriendo más agua de Tlaxtilaco, San Alvaro y Pallares, San Lucas, Textitla, Patolco, Villares, Casa Blanca, Santo Tomás, Merced de las Huertas, Los Morales, San Isidro y Clávería. Llegó también a captarse agua de los llanos de Salazar (manantiales de Ajolotes), lo que significó una de las primeras importaciones de agua de otra cuenca. Los caudales disponibles resultaron insuficientes para la demanda citadina, por lo que se decidió nombrar una comisión técnica en 1889 para estudiar varios proyectos presentados.

Para 1900 la entrada de agua a la capital era de 480 l/s en promedio; la ley de aguas exigía una toma de 1.15 l/min para cada finca, y contaba con una red de cañerías de 104,235 m de diversos diámetros; sin embargo, en 1901 la ciudad contaba con 107,575 m de cañerías de diversos diámetros para 6,532 casas, un caudal de 570 l/s y 32 pozos artesianos; el agua del manantial de Chapultepec se elevaba por bombas a los estanques en la zona de Dolores, desde los cuales se distribuía al resto de la urbe.

El Consejo Superior de Salubridad acordó en 1902 analizar todos los pozos para verificar su potabilidad, más aún que había en la ciudad 1,376 pozos artesianos que producían 362 l/s; de manera colateral entraba un caudal promedio de 500 l/s, para hacer un total de 862 l/s y 108,501 m de tuberías de diámetros diversos.

Para el año siguiente, 1903, entraba a la capital un promedio de 560 l/s, más 378 l/s provenientes de pozos artesianos, había 109,883 m de tuberías de distintos diámetros. En 1905 la capital se alimentaba con 576 l/s, que se distribuía a través de 115,401 m de tuberías de hierro de diversos diámetros a 8,190 tomas de agua, y 387 l/s de pozos artesianos públicos y particulares. Un año más tarde al quedar electrificadas las bombas de Chapultepec se obtuvo una economía del 40 %; con ello fue posible contar con 130,969 m de tuberías de distintos diámetros (desde 8 hasta 80 cm); también se instalaron 950 llaves de incendio; la electrificación rápidamente se extendió por lo que se automatizaron los pozos de las colonias Roma y Condesa.

Respecto al acueducto principal, éste se inició el 18 de julio de 1905 y se concluyó el 30 de julio de 1908.

Como obras complementarias para el abasto hidráulico se construyeron los depósitos del Molino del Rey, hoy conocidos como tanques de Dolores, de enero de 1907 a enero de 1909, período durante el cual se instaló la planta de bombeo No. 1 de la Condesa (de agosto de 1908 a septiembre de 1910), y de junio de 1909 a abril de 1910, la galería central.

La ciudad empezó a abastecerse con agua extraída de los manantiales de La Noria a partir del 16 de julio de 1908.

En 1925 se reanudaron con la reparación y mantenimiento del antiguo acueducto de Xochimilco.

Se aumentó en 1926 el tiempo de servicio de agua hasta 18 horas, lo que obligó a instalar unas válvulas en el parque Luna, ubicado en la calzada de Chapultepec esquina con la calle de Lieja.



La ciudad recibió hacia finales de 1927 un caudal de 2.5 m<sup>3</sup> /s para una población de un millón de habitantes, o sea 216 l/hab. Para 1932 se presentaron graves deficiencias en el abasto hidráulico debido a heterogeneidad en las instalaciones.

En 1932 se explotaron 24 pozos artesianos, y en proceso de construcción estaban otros cinco; eso hizo que los manantiales del bosque de Chapultepec únicamente se utilizaran para los servicios del Castillo, la residencia presidencial y el riego de las áreas verdes.

El abasto de agua se amplió con la red de distribución de Coyoacán y la de las colonias de los Doctores y Obrera; además se reconstituyeron los acueductos del Distrito mediante el contrato con la compañía La Imperial.

En la región de Xochimilco, se terminaron dos unidades de bombeo con capacidad para 300 l/s, con su edificio correspondiente, en San Luis Tlaxialtemalco. Se amplió el sifón de Santa Cruz Alcapixca con una línea de conducción de 80 cm de diámetro; asimismo, se aumentó la capacidad de bombeo de la Condesa con nuevos impulsores.

En 1933, con objeto de atender el servicio de agua potable y el de saneamiento, se creó en septiembre por decreto presidencial la Dirección de Aguas y Saneamiento (DAS).

El personal técnico, administrativo y obrero que operaba y conservaba los servicios de aguas y saneamiento estaba dirigido por la autoridad municipal de la Ciudad de México, práctica que inclusive se mantuvo formando parte de la Dirección de Obras Públicas durante todo el periodo revolucionario; después de este lapso, al desaparecer el Ayuntamiento para dar paso a una nueva entidad administrativa, se creó la Dirección de Aguas y Saneamiento como una dependencia adscrita directamente a la jefatura del Departamento del Distrito Federal. Mediante decreto del 25 de septiembre de 1933 se le reconocieron las suficientes facultades y atribuciones.

Para 1934 la Ciudad de México había resuelto su problema de agua al contar con un abasto diario mediante la instalación de nuevas redes de distribución en la Delegación de Coyoacán y en colonias como la Roma, Condesa, Doctores, Obrera, Mixhuca, Balbuena, Morelos, Vallejo y Mixcoac.

A fin de aumentar la alimentación urbana se construyó el acueducto Monte Alegre en Milpa Alta, con lo que se aprovechó el agua de los manantiales de Monte Alegre para beneficiar a 25 pueblos al sur del Distrito; se aumentó la producción de pozos y se colocaron más medidores particulares.

Con objeto de modernizar el servicio se pensó sustituir el acueducto de Xochimilco en el tramo Candelaria - Condesa, y construir una nueva planta de bombeo en Xotepingo; para ello se sujetaron a concurso diversas empresas estadounidenses, japonesas y europeas; y se repararon muchos desperfectos, con lo que se evitó la pérdida de agua que complicaba el abastecimiento.

Antes de finalizar 1935 continuaba la ampliación de la red de distribución de agua, en este caso para las colonias Roma Sur, Roma, Condesa, Peralvillo, Morelos, Maza, Valle Gómez, Tlaxpana, Santa María Norte, Lomas de Chapultepec y la Delegación Alvaro Obregón; con ello la red alcanzó una longitud de 604 km; como complemento se instalaron más de 4,000 tomas de agua.

En 1936 se puso especial empeño en la dotación de agua potable periférica, con lo cual se cubrió a diez pueblos pertenecientes a las delegaciones Tláhuac, Xochimilco y Tlalpan. Internamente se colocaron tuberías en las colonias Pro-Hogar, Peralvillo, Calzada de la Piedad, Villa Obregón, Morelos, Magdalena Mixhuca y Bosque de Chapultepec, además se instalaron bombas en los pozos de San Jacinto, Jardín Salesiano y Casa de Orientación para Varones.

Se proyectó en 1937 recurrir al acuífero del Lerma en el Valle de Toluca, cuya altura permitía que por gravedad se abasteciera a todas las regiones del Distrito Federal. Para ello se calculó un caudal inicial de 6 m<sup>3</sup>/s para llegar a un total de 14 m<sup>3</sup>/s, lo suficiente para cubrir una población de 2'800,000 habitantes, con una dotación diaria de 430 l/hab.



También era necesario aumentar la presión del agua proveniente de los manantiales de Xochimilco y de los pozos perforados en el sureste del Distrito Federal, para lo cual se pensó en la planta de bombeo de Xotepingo e inyectar el caudal a través de una doble tubería de 1.2 m hasta los tanques de Dolores, y por otra similar hasta la zona oriente de la ciudad.

Pese a los esfuerzos desarrollados el abasto no era suficiente, por lo que continuó la perforación de pozos y captación de manantiales. Conforme se llevaba a cabo esto se instalaba la tubería respectiva, para distribución. Prácticamente, el año finalizó con la instalación de 3,132 nuevos medidores y el cambio de 3,124.

Para 1938 la situación casi no había cambiado, las fugas en el acueducto de Xochimilco equivalían a 1 m<sup>3</sup>/s aproximadamente, lo que representaba el 33% de la entrada a la capital.

En 1939 las nuevas fuentes para el surtimiento de agua en el Distrito Federal fueron:

- En Xotepingo: la Noria, Nativitas, Santa Cruz, San Luis y Santa María del Olivar
- En el Desierto de los Leones: Ajolotes, Leones, Ranchito y Desierto,
- Además de 56 pozos artesianos que complementaban el abastecimiento de agua a la ciudad, colonias y pueblos de las delegaciones.

Pasaron dos años para que la planta de bombeo de Xotepingo entrara en funcionamiento, con una capacidad total de bombeo de 7.5 m<sup>3</sup>/s, y una carga dinámica total de 64 m; elevaba el agua captada en los manantiales de Xochimilco hasta los tanques de Dolores, lo cual alivió un poco la situación en 1941.

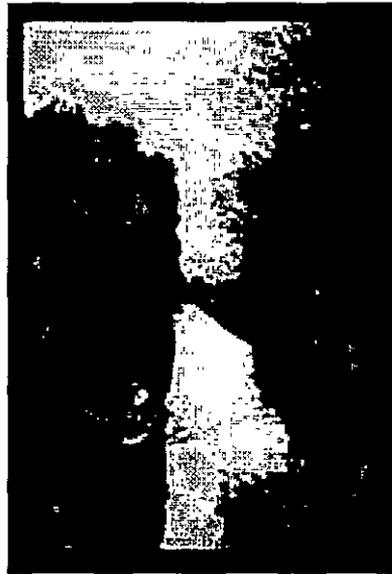
En 1944 se continuó la perforación del túnel del Lerma, la construcción de tres lumbreras y 11 pequeños túneles con una longitud de 1,600 m.

De acuerdo con lo programado, una vez terminada la obra del Lerma y con nuevas captaciones en el Distrito Federal era factible esperar un volumen de 1'600,000 m<sup>3</sup> diarios, suficiente para satisfacer a una población de cuatro millones de habitantes con una dotación diaria de 400 litros.

En octubre se crea un nuevo organismo denominado Dirección de las Obras del Lerma, segregándolo de la Dirección de Aguas y Saneamiento (DAS).

Para 1949 la Dirección de las Obras del Lerma enfoca sus acciones a la construcción de sifones en las barrancas de Dolores y del Borracho para salvar pasos de arroyos, caminos, ríos y carreteras. Además se inició la construcción de la planta purificadora del río Borracho, y se siguió la elaboración de chimeneas de concreto para provocar ventilación de las aguas. Se revistieron 4,178 m de túnel, con un diámetro de 3.26 m y se inició la captación de las aguas.

Con objeto de proyectar el crecimiento del Distrito Federal hasta 1970 como meta se creó en ese año la Comisión de Estudios Técnicos. 1951 empezó con la instalación de una línea de conducción para los manantiales del Ranchito al tanque del Olivar de los Padres y dar así servicio a la colonia Mixcoac, además se iniciaron los estudios geofísicos para determinar los acuíferos a explotar en el Distrito Federal; para ello se analizaron los de Chimalhuacán y Texcoco, también se proyectó la planta de tratamiento de aguas negras en la prolongación sur del Gran Canal y aprovechar los excedentes en usos industriales y agrícolas, pero pese al entusiasmo nunca se construyó.



El 4 de septiembre de 1951 se pusieron en operación oficialmente las obras del Lerma, proporcionando 4 m<sup>3</sup>/s en una primera etapa, ya que el proyecto preveía un gasto total de 14 m<sup>3</sup>/s, gracias a ello en la ciudad capital se alcanzó una dotación de 340 l/día/hab. Quedaban pendientes las cuatro plantas para generación hidroeléctrica del acueducto del Lerma. La planta de purificación El Conejo, mediante cloro, se anunció como concluida.

Ante la preocupación de que el nivel freático se abatía cada año se plantearon dos proyectos; uno consistía con una planta de tratamiento de aguas negras, para aprovechar su afluente en el mantenimiento de los niveles de los lagos de Xochimilco, Tláhuac y Texcoco, y la otra, ver la posibilidad de infiltrar todas las aguas pluviales directamente al subsuelo.

Mientras tanto, se continuaba la infraestructura hidráulica en Coyoacán, Tlalpan, Villa de Guadalupe, Iztapalapa y Tláhuac, así como 12,326 nuevas tomas domiciliarias, la reparación de 10,200 fugas en la red de distribución y la atención a 13,155 quejas de agua en todo el Distrito Federal. Por otra parte, el número de colonias abastecidas por medio de carros tanque aumentó a 58.

El Distrito Federal tenía en 1952 una población de 3'460,000 habitantes, la que era abastecida con un caudal de agua potable de 13.1 m<sup>3</sup>/s. Únicamente el 50% de la masa urbana contaba con servicio domiciliario, suministrado por la red pública de distribución; el resto se surtía con hidrantes públicos o pipas.

### **Epoca moderna**

En 1953, la carga de trabajo totalmente desproporcionada en relación con los recursos de que disponía la Dirección de Aguas y Saneamiento, no fue un obstáculo para plantearle como de urgente solución las inundaciones y el hundimiento del área urbana del Distrito Federal, problemas acentuados con la perforación de pozos para el abastecimiento de agua que una población en continuo crecimiento demandaba.



El jefe del Departamento Central del Distrito Federal, Lic. Ernesto P. Uruchurtu, creó en octubre la Dirección General de Obras Hidráulicas (DGOH) con las funciones de estudiar, proyectar y construir las obras necesarias para el abastecimiento de agua de la ciudad, drenaje de la misma y control de los hundimientos.

Después de la creación de la DGOH, la de Aguas y Saneamiento se dedicó a la operación y conservación de los sistemas de aguas potable y saneamiento, así como a la construcción de obras pequeñas para mejorar esos sistemas.

En mayo de 1954 la DGOH formuló el "Plan general para resolver los problemas del hundimiento, las inundaciones y el abastecimiento de agua potable de la Ciudad de México"; en él se propuso una serie de obras para mejorar los sistemas de agua potable, alcantarillado y drenaje, a desarrollarse durante los siguientes quince años.

Tanto para disminuir el avance del hundimiento de la capital como para resolver las necesidades de una población en rápido crecimiento, se formuló un programa para el abastecimiento de la ciudad y la clausura de cerca de 2,000 pozos artesianos en predios particulares que extraían 1.2 m<sup>3</sup>/s; asimismo, se adoptó la tendencia de impedir nuevas perforaciones de pozos.

Se propuso realizar las obras en un lapso de doce años, a fin de aumentar el caudal de alimentación de 13.1 a 22.2 m<sup>3</sup>/s. Los principales sistemas serían Chiconautla, Chimalhuacán-El Peñón, la primera etapa de Tláhuac-Chalco con 2.5 m<sup>3</sup>/s, así como los trabajos de rehabilitación de los sistemas existentes en los que se logró un aumento de 2.8 m<sup>3</sup>/s; con ello las obras proyectadas producirían un gasto de 9.1 m<sup>3</sup>/s.

Para distribuir dicho caudal, se construirían tanques de almacenamiento y distribución con una capacidad conjunta de 200,000 m<sup>3</sup>, para beneficiar a 3'200,000 habitantes más.

Se inició además un programa para economizar agua y evitar desperdicios, para lo cual se instalaron 300,000 medidores en tomas domiciliarias, industriales y comerciales. Además se proyectaron cuatro plantas de tratamiento de aguas residuales y se expidió la ley que establecía la obligación de recircular el agua en las industrias con alto consumo del líquido.

Buscando nuevas fuentes, en 1954 se perforaron dos pozos profundos y se instalaron equipos de bombeo en otros ocho para el servicio de agua urbano.

Con objeto de ampliar el sistema del Lerma se tendió un acueducto de 9-km de longitud y se conectaron equipos de bombeo en 17 pozos para conducir el agua a dicho acueducto; se estimaba en 600 l/s el caudal de esta fuente de abastecimiento.

En lo que corresponde al área urbana se amplió la red de distribución en San Angel y la nueva terminal de los Ferrocarriles, Viaducto Piedad, Vértiz-Narvarte y Tlalpan; para satisfacer a viviendas y centros deportivos, se localizaron y repararon fugas en la red de distribución de agua potable y recuperar 1.5 m<sup>3</sup> /s, además se rehabilitaron y ampliaron las captaciones de Xochimilco, renovándose el equipo y aumentando el gasto en 1,200 l/s.

Debe señalarse que se iniciaron las obras de captación de Chiconautla, con capacidad calculada de 3.3 m<sup>3</sup>/s, estaban programadas para ser concluidas en 1956, comprendiendo acueductos, tanques de regularización y la red de distribución primaria.

Para 1956 finalizaron las obras del sistema de Chiconautla; contaba con dos equipos de cloración y dos amoníadores para tratar el agua antes de distribuirla en la ciudad. Con ello se beneficiaría a la zona norte de la urbe en una superficie de 4,000 ha y 800,000 habitantes.



A pesar de que el bombeo era y sigue siendo la causa fundamental de los hundimientos en la ciudad, se hacía necesario perforar pozos de emergencia para abastecer a algunas colonias que carecían totalmente de este servicio; por ello entraron en función los pozos

Santa Catarina, San Pedro Xalpa, Trabajadores del Hierro, el Trébol, Cuautepec el Alto, la Tlacotal, Bramadero, el Arenal, Agrícola Oriental y San Pedro de los Pinos.

Se continuó el control de fugas en la red de distribución urbana, que para entonces equivalía a un caudal de 2,600 l/s, y en cuanto a las tomas ilegales, se regularizaron 80,000 medidores domésticos e industriales.

Tanto para las obras de Chiconautla como para las del Peñón se efectuaron estudios geológicos, geofísicos, geoquímicos y geohidrológicos que permitían fijar la zona de captación más adecuada y que, como lo demostraron las obras de Chiconautla, confirmaron las predicciones derivadas de los estudios previos. También se llevaron a cabo análisis geohidrológicos y geoquímicos para asegurar la captación de 3 m<sup>3</sup> /s en la zona de Chalco, volumen que se proyectó conducir hasta el cerro de La Estrella, en donde quedarían alojados los tanques de regulación y almacenamiento.

Otra clase de estudios, en la zona del Alto Amacuzac, fueron los geológicos con objeto de determinar las posibilidades de construir túneles para el paso del agua de dicha zona al Valle de México.

También en 1957 se analizaron y diseñaron los proyectos para la ampliación de las captaciones en el área de Xochimilco, con el fin de aumentar su caudal en 1 m<sup>3</sup>/s, que no afectarían la cuenca de la capital; se hicieron los proyectos para ampliar las captaciones de las obras del Lerma en 2 m<sup>3</sup>/s, y se diseñó una planta potabilizadora para captar 100 l/s del río Hondo, y añadirlos al acueducto del Lerma a la altura de la caída de Las Palmas. Se continuaron los avances geológicos de las áreas de captación inmediata para la ciudad, tales como Chalco, Xochimilco y Lerma.

El principal objetivo de los estudios hidrológicos en la cuenca del Valle de México era determinar la magnitud del depósito de aguas subterráneas y la cantidad de líquido factible de infiltrar en forma natural y del que se podía hacer por medios artificiales. En este sentido se hizo investigación geohidrológica en las zonas de Chiconautla, el Peñón, Chalco y Xochimilco a fin de determinar la calidad de las aguas y su forma de escurrimiento, así como ensayos con radioisótopos para determinar, mediante una

cantidad conocida de agua de infiltración, la velocidad del escurrimiento en los acuíferos y la probable velocidad de recarga en los mismos.

En el aspecto general se concluyó el proyecto de la red primaria de distribución, con cobertura de 40,000 Ha, para servir a 7 millones de habitantes, población estimada hacia 1970.

La sección de fugas de la DAS inspeccionó 335,900 tomas domiciliarias en 22,300 manzanas, habiéndose eliminando 8,110 fugas.

En 1958 se hizo pública la noticia de que las obras del Peñón fueron terminadas, incluyendo la perforación de nuevos pozos para asegurar un gasto de 500 l/s, así como las tuberías necesarias para llevar el agua de los pozos al acueducto principal, y la ampliación de las instalaciones eléctricas.



El nuevo tanque de regulación y almacenamiento se ubicó en el cerro del Peñón, con una capacidad de 55,000 m<sup>3</sup>; era de concreto armado y lecho a base de trabes y losas precoladas. Fue una obra difícil pues hubo necesidad de excavar 95,000 m<sup>3</sup> de material duro en la parte alta del cerro. El tanque contaba con cajas de entrada y de salida para controlar los volúmenes de agua, y una tubería de desvío para emergencia. Por su parte, las obras del sistema Chiconautla también se terminaron completándose los pozos necesarios y las conexiones a los acueductos secundarios, los que a su vez alimentarían al acueducto principal.

Para aumentar el gasto que se conduce del Lerma a la Ciudad de México y aprovechar al máximo las obras existentes se inició la perforación de nuevos pozos y el arreglo de algunos otros, lo que aumentó el gasto en 2 m<sup>3</sup>/s, y se ejecutaron obras conexas como fueron la revisión de los equipos de bombeo, la electrificación de los pozos y la colocación de tuberías auxiliares para conducir el gasto al acueducto principal.

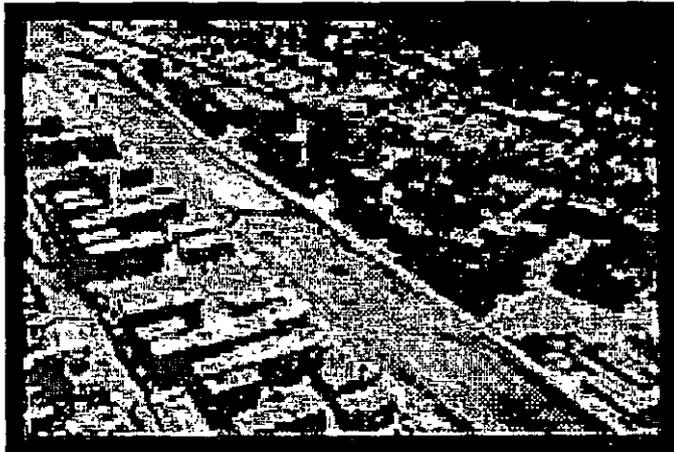
Conforme avanzaba el año se concluían obras urbanas, al respecto se terminó la recimentación de la planta de Xotepingo, así como la construcción del nuevo cárcamo y la tubería de succión, se terminaron varias plantas de tratamiento de aguas negras, permitiendo un ahorro considerable de agua potable al sustituir ésta en el riego de parques y jardines; con ello se rehabilitaba el lago de Xochimilco; dichas plantas fueron:

- Xochimilco, con capacidad de 400 l/s (30 mil m<sup>3</sup> diarios), para la recuperación de los niveles del lago y permitir el florecimiento del turismo y el comercio en la zona.
- Magdalena Mixhuca o Ciudad Deportiva, con capacidad de 100 l/s, para los jardines y los campos deportivos, que totalizan 200 ha.
- Chapultepec, con capacidad de 160 l/s (7 millones de litros por día), que se emplea para el riego del bosque del mismo nombre.
- Iztacalco, con capacidad de 100 l/s, para el riego de los jardines de la Ciudad Deportiva.

En 1960 continuaron las mediciones de los escurrimientos superficiales en las tres zonas del Alto Amacuzac: Tenancingo, Edo de Méx., Cuautla, Mor. y Atlixco, Pue; se estableció una comparación entre los caudales superficiales observados durante 1958, 59 y 60, logrando con ello una orientación más firme sobre la zona adecuada para hacer captaciones y estudios hidrológicos colaterales. Se registraron las precipitaciones por medio de 29 estaciones pluviométricas y ocho climatológicas completas, repartidas en un área aproximada de 12,000 km<sup>2</sup>.

A lo largo del año se prosiguió con la eliminación de fugas mediante la inspección continua de la red de distribución y de las conexiones domiciliarias, habiéndose revisado 305,584 tomas en el área urbana, lo que permitió recuperar un caudal total de 2 m<sup>3</sup>/s,

En 1961, a fin de mejorar la extracción en la zona de captaciones del Sistema Lerma, se perforaron diez pozos más a una profundidad media de 150 a 200 m, extrayendo en total hasta 5.5 m<sup>3</sup>/s; dentro de la ciudad se vio la necesidad de perforar dos pozos para surtir 2,000 casas en la unidad habitacional de Santa Cruz Meyehualco, con un caudal de 60 l/s, además de un pozo y la instalación electromecánica respectiva, para los barrios Alto y Bajo de Cuautepec.



Dado que esa política no era muy conveniente, se iniciaron estudios para obtener hasta 300 l/s de río Magdalena y del sistema de manantiales del Desierto de los Leones, lo que hizo posible abastecer a 70,000 habitantes en las zonas de Villa A. Obregón, San Jerónimo, Contreras y Mixcoac.

Se inició la primera parte del sistema Tláhuac-Chalco para extraer de los acuíferos correspondientes, que por cierto eran de abundante recarga y ajenos a la cuenca del Valle de México, un caudal de 2.5 m<sup>3</sup>/s de 40 pozos.

Entre las noticias relativas a obras urbanas destacaron en 1963 las de la terminación de la primera etapa de las obras del sistema Tláhuac-Chalco, en la zona Xochimilco-Mixquic-Santa Catarina; se trataba de varias líneas de conducción y de redes de distribución. Se perforaron 32 pozos para traer 2.5 m<sup>3</sup>/s a la ciudad, y la instalación electromecánica y detalles de la obra en general para el montaje de diez equipos de bombeo de pozo profundo con el fin de rehabilitar el sistema Lerma en 800 l/s, así como la instalación electromecánica para el montaje de dos bombas de pozo profundo para Santa Cruz Meyehualco. Ya avanzado el año concluyeron la instalación electromecánica y la obra civil para el montaje de 11 bombas de pozo profundo, con equipo de control y

alumbrado en la zona poniente de la ciudad, con el propósito de extraer 300 l/s aproximadamente.

Continuó la inspección de la red de distribución y de las conexiones domiciliarias habiéndose revisado 450,000 tomas (dos veces), lo que significó una recuperación de 800 l/s en 4,576 fugas eliminadas.

En 1964 la población del Distrito Federal era de aproximadamente 5'800,000 habitantes, que en conjunto consumía un caudal de 22.2 m<sup>3</sup>/s, o sea de 331 l/hab/día; durante ese año la cobertura del servicio de agua potable en domicilios, llegó al 86%.

Un año después (1965) ante el aumento de demanda de abastecimiento se hizo necesario perforar 45 pozos de explotación y 73 de observación en la zona del Alto Lerma, con lo que se logró 1 m<sup>3</sup>/s para abastecimiento de la Ciudad de México. Con dichas perforaciones se inició un programa calculado en 5 m<sup>3</sup>/s durante dos años.

Las actividades en 1966 fueron múltiples, tal es el caso de los estudios de sondeos sismológicos y geoelectrónicos en el valle del Alto Lerma, además de otros análisis geohidrológicos. En cuanto a la captación de aguas subterráneas por medio de pozos, el primer grupo se compuso de 51 unidades de explotación y 57 piezométricos (o de observación) en la zona del Alto Lerma; el segundo grupo estuvo compuesto por 66 de explotación y 64 piezométricos. Se concluyeron las instalaciones electromecánicas y obras civiles en el sistema Alto Lerma a través de 51 equipos de bombeo tipo profundo, de los cuales 21 se localizaron en el ramal Amomolulco-Almoloya, al sur del túnel, para producir un caudal de 2.50 m<sup>3</sup>/s. Los otros 30 en el ramal Amomolulco-José Antonio Alzate, al norte del túnel, para producir un caudal hasta de 3.50 m<sup>3</sup>/s; conjuntamente se instalaron 50 km de línea trifásica de 20,000 para alimentar los 30 pozos.

Quedaron concluidas las obras para beneficio social en 54 poblaciones del Estado de México, a lo largo de la línea de conducción y captación del sistema Lerma, conforme al convenio formulado con la autoridad estatal y las secretarías de la Presidencia, Recursos Hidráulicos, y el Departamento del Distrito Federal.

1968 se encauzó hacia las obras colaterales para la línea de la Av. las Torres -Eduardo Molina Enríquez- de la delegación Iztapalapa; se concluyó la prolongación de la rama sur y la línea de conducción de la rama norte en el sistema Lerma, y en la prolongación de la rama sur se instaló tubería entre Almoloya del Río y Techuchulco. Para la misma rama se tendió una tubería paralela, entre el túnel de Atarasquillo y el del kilómetro 46+500, además de la prolongación del ramal la Gavia.

Para las obras del Sistema de Transporte Colectivo (METRO) fue necesario hacer cambios en el servicio de agua potable a lo largo de las rutas 1, 2 y 3.

Conforme avanzó el año las obras continuaron, un ejemplo fueron los 4,760 m de tubería para una superficie de 25 Ha, con lo que se beneficiaron 5,500 pobladores de la colonia Arenal; 64,900 m de tubería para 326 ha, en beneficio de 91,000 habitantes de tres "ciudades perdidas".

Prácticamente, el año terminó con la campaña para evitar el desperdicio de agua en la red de distribución mediante la localización y reparación de fugas tanto en las tuberías de distribución como en las tomas domiciliarias.

Buscando nuevas fuentes, en 1970 se efectuaron estudios y análisis de sistemas de agua potable para la ciudad y se proyectó el Sistema Aguas del Norte, que comprendía el Alto Balsas y Tecolutla.

En el sistema Alto Lerma se montaron diez nuevos equipos de bombeo para riego, se instalaron 20 unidades de bombeo para la rama norte del sistema en los ramales Ixtlahuaca poniente, Jocotitlán, Chejé y San Mateo, y 25 km de línea trifásica, además de 25 filtros para pozos de producción.

Se expidió una nueva Ley Orgánica del Departamento del Distrito Federal, en la cual se establecieron las 16 delegaciones que se conocen actualmente; a su vez en cada una se crearon oficinas de agua y saneamiento, las cuales se encargarían de operar, conservar y mantener las redes secundarias de agua potable y alcantarillado, así como la conexión de tomas de agua potable de hasta de 1.3 cm de diámetro y descargas de aguas residuales de hasta de 15.0 cm de diámetro. Sin embargo, dichas oficinas no fueron

dotadas de los suficientes recursos técnicos y presupuestales; más aún, en forma instantánea tuvieron que atender un gran número de solicitudes de nuevas conexiones a las redes secundarias de agua potable y alcantarillado, lo cual limitó en gran medida la efectiva desconcentración de los servicios hidráulicos.

Al crecer la situación crítica del servicio urbano, se llevaron a cabo estudios, proyectos, y análisis en 1971 para aumentar el abastecimiento de agua potable, incluyendo el área metropolitana. Para ello, en la planta de bombeo de la presa Alzate, en Lerma, y en la del Cerro de la Estrella se hicieron instalaciones para tableros de señalamiento del equipo, se acondicionó el ciclaje para todos los equipos de bombeo, y se perforaron 35 pozos y aforos en otros 29 del sistema Tláhuac-Mixquic-Xochimilco, y se llevaron a cabo instalaciones electromecánicas y obra civil para la captación de agua potable. Asimismo, se colocaron equipos de bombeo en 20 pozos para su explotación.

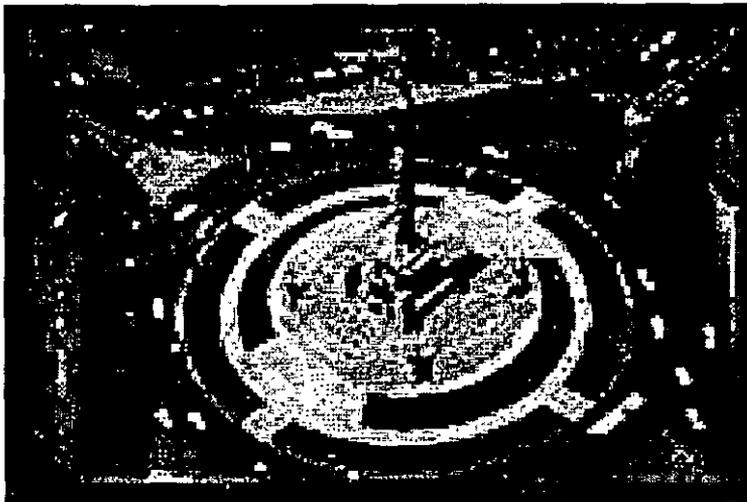
En 1973 una extrema sequía hizo que los campesinos tomaran para el riego de punteo agua del sistema Lerma, abatiendo notablemente los caudales que entraban a la ciudad, por lo que hubo que suspender el riego y convenir con los ejidatarios el pago de sus cosechas en tanto se perforaban 45 pozos en Lerma para el riego de punteo y se rehabilitaban diez unidades para sus propios pozos, además se hicieron trabajos de bordería para almacenar la lluvia. Con dificultades pudo conservarse algún tiempo la captación de los 14 m<sup>3</sup>/s, pues la amenaza de abatimiento ya se hacía presente desde 1972.

En 1974 se celebró un convenio con la Comisión de Aguas del Valle de México (CAVM), que había sustituido a la Comisión Hidrológica en 1972, para encargarse de las nuevas provisiones en toda la cuenca. Inició esta Comisión entregando 1 m<sup>3</sup> /s de aguas del sur en 1973 y 6 m<sup>3</sup> /s de aguas del norte en 1978.

Para 1978 la detección y reparación de fugas se hizo rutinaria con cuadrillas que alcanzaban a recorrer las redes primarias y secundarias dos veces por año, con lo que fue posible suprimir la pérdida de 1 m<sup>3</sup>/s.

## Epoca actual

El primer paso hacia la integración del sistema hidráulico del Distrito Federal se dio al unir la DAS y la Dirección General de Obras Hidráulicas, para crear la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, DGCOH, mediante acuerdo 236, publicado en la Gaceta Oficial del DDF el 15 de agosto de 1978. Así la creación de la DGCOH fue considerada como el inicio de una transición hacia una nueva forma de organizar y proporcionar los servicios hidráulicos que requería el Distrito Federal.



A partir de entonces, la DGCOH ha sido la encargada de proporcionar los servicios de agua potable y drenaje a los habitantes de la Ciudad de México, así como de realizar diversas acciones para tratar el agua residual y fomentar su reúso, por lo que sus acciones están orientadas fundamentalmente a contribuir en la realización de la estrategia planeada para el Distrito Federal en el ámbito social y político.

Sin embargo, además de la DGCOH existen otras dependencias del GDF que inciden directamente en el desarrollo del sistema hidráulico, lo que en diversas ocasiones ha reducido la eficiencia en la prestación de los servicios, de ahí que en tanto las delegaciones políticas realizan algunos trabajos de mantenimiento en las redes secundarias de agua potable y drenaje, la Tesorería del DDF tiene a su cargo la medición, facturación y cobro a los usuarios.

Los objetivos fundamentales de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica son, en el marco de las perspectivas del desarrollo urbano, proporcionar los

servicios de agua potable y drenaje a los habitantes de la ciudad en cantidad y calidad adecuadas, así como realizar diversas acciones para tratar el agua residual y fomentar su reúso, observando las obligaciones que para tal fin se indican en el artículo 23 del Reglamento Interior del DDF.

A principios de 1972 el problema del abastecimiento del agua era crítico debido al crecimiento de la urbe, no sólo circunscrita al Distrito Federal; ante esta situación el 17 de agosto de 1972 se creó la Comisión de Aguas del Valle de México (CAVM), dependiente de la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH) y posteriormente (en 1976) de la SARH. Tenía por objeto programar, proyectar, construir y operar las obras necesarias para aprovechar los recursos hidráulicos en la cuenca del Valle de México, para ello se planteó en primera instancia optimizar el aprovechamiento del recurso hidráulico en el Valle de México e importar, de cuencas aledañas, el excedente en las mismas para la capital, para lo cual se estudiaron las cuencas de los ríos Cutzamala, Tecolutla y Amacuzac.

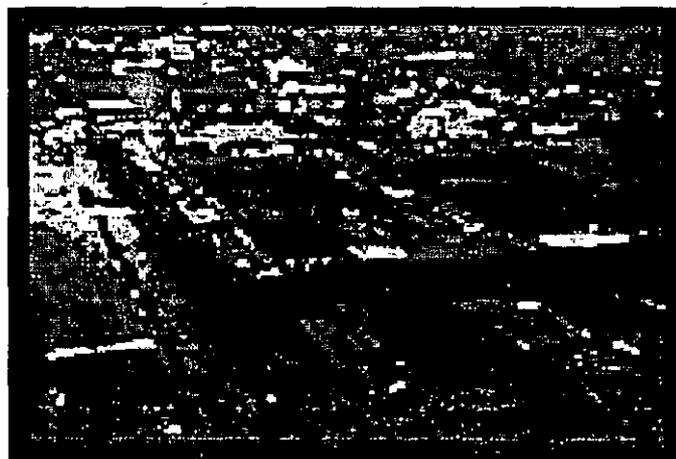
El sistema seleccionado fue el Cutzamala, al considerársele como la solución técnica, social y económica más viable para llevar agua a la cuenca del Valle de México. El sistema Cutzamala se proyectó en tres etapas; la primera, para terminarse en 1982, captaría 4 m<sup>3</sup>/s de la presa Villa Victoria; la segunda, con límite en 1988, captaría 6 m<sup>3</sup>/s de la presa Valle de Bravo y finalmente la última, programada para concluirse en 1993, tomaría del vaso Colorines, 8 m<sup>3</sup>/s y, al principio considerada como reserva, 1 m<sup>3</sup>/s de la presa Chilesdo, para completar un total de 19 m<sup>3</sup>/s. Además se dispusieron en compensación, 2 m<sup>3</sup>/s para las zonas aledañas a las captaciones y al trazo del acueducto, pero en el Estado de México.

La construcción del sistema comprendió dos presas derivadoras; 120 km de tubería de concreto presforzado de 2.50 m de diámetro; 4.5 km de tubería de acero de 3.10 m; 18 km de túneles de 4 m de diámetro; 9 km. de canal cubierto; una planta potabilizadora de 24 m<sup>3</sup>/s, siete torres de oscilación, cinco tanques de sumergencia y siete plantas de bombeo, por lo que junto con las otras fuentes, el caudal durante el periodo de 1983 a 1988 se incrementó anualmente, por ejemplo, en 1983 se suministraron 33 m<sup>3</sup>/s, y para 1987 ante un desarrollo del 11.4 %, el caudal medio llegó a 36.76 m<sup>3</sup>/s, lo que representó un volumen de suministro diario de 3.18 millones de litros de agua potable.

Para mantener el volumen de extracción subterránea, las fuentes representaron aproximadamente el 82 % total proporcionado a los habitantes, se efectuó la sustitución y rehabilitación de 167 y 753 pozos, respectivamente. Desde hacía tiempo los primeros presentaban un funcionamiento deficiente que desde el punto de vista técnico-económico no convenía su rehabilitación; en cuanto a los segundos, se perforaron a una profundidad promedio de 250 m, algunos de ellos en estratos de roca, lo que dificultó aún más su construcción.

Es importante mencionar que la selección de los sitios donde se ubicaron los pozos, la definición de profundidad y el caudal de extracción se basó en estudios geohidrológicos elaborados por la DGCOH, procurando en la medida de lo posible, que los efectos ocasionados por la sobreexplotación del acuífero fueran mínimos. Además, para contribuir a garantizar una calidad adecuada en los trabajos de sustitución de pozos, se emplearon métodos modernos de supervisión apoyados en cámaras de video, lo que permitió corregir las fallas que se presentaban durante el proceso constructivo.

Con el propósito de crear una infraestructura que permitiera la conducción adecuada a los tanques de almacenamiento y se regularan los caudales extraídos de pozos, se construyeron entre 1983 y 1987, ochenta y ocho kilómetros de líneas de conducción en diversos puntos de la Ciudad de México y del Valle de Lerma; con ambas acciones se aumentó 23% de la infraestructura con respecto al inicio del periodo 1983-1988, lo que posibilitó distribuir en forma más eficiente el líquido a la población.



Adicionalmente, se llevó a cabo la construcción de 17 tanques de almacenamiento y regulación en las delegaciones Gustavo A. Madero, Alvaro Obregón, Magdalena

Contreras, Iztapalapa, Tlalpan y Xochimilco, beneficiando a 25 millones de habitantes. La capacidad conjunta de los tanques fue de 107,000 m<sup>3</sup> lo que hizo factible incrementar en un 8% la capacidad instalada, que en algunos de ellos era de 50 millones de litros.

Con el objeto de suministrar agua potable a más habitantes, se construyeron 24.6 km de red primaria, y 49.5 km de red secundaria, en las delegaciones Alvaro Obregón, Coyoacán, Iztapalapa, Magdalena Contreras, Miguel Hidalgo, Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan, y Xochimilco.

Por otra parte, se llevó a cabo la nueva planta de bombeo de Xotepingo a fin de mejorar de manera sustancial la distribución en las delegaciones Cuauhtémoc, Benito Juárez y Coyoacán, que en conjunto significaban dos millones de habitantes; su capacidad de bombeo era de 8 m<sup>3</sup>/s, con objeto de mejorar los caudales del sistema Cutzamala y de las futuras fuentes de abastecimiento externas al Valle de México, se inició en 1986 el túnel Ramal Sur y obras complementarias, constituidas fundamentalmente por estructuras de control, sifones y líneas de derivación.

Dicho ramal se localiza al poniente de la capital; entre el Portal San José, en la Delegación Cuajimalpa, y el Cerro del Judío, en la Delegación Magdalena Contreras; forma parte del Acueducto Periférico o Acuíferico, cuyo objetivo es distribuir de manera más equitativa el agua potable a los habitantes del Distrito Federal, especialmente a los de las zonas sur y sur oriente. La obra se dividió en tramos para distribuir los caudales provenientes del sistema Cutzamala y de futuras fuentes, de abastecimiento externas al Valle de México: San José-El Borracho, El Borracho-El Cartero, Crucero I-Plateros, y Plateros-Cerro del Judío; a fines de 1988 entró en operación el tramo San José-Cerro del Judío.

Para apoyar el funcionamiento del sistema hidráulico, caracterizado por su magnitud, complejidad y ritmo de trabajo durante las 24 horas de los 365 días del año, resultaba fundamental implantar un sistema oportuno y permanente de mantenimiento. En este sentido, de 1983 a 1988 se proporcionó revisión electromecánica a 6,155 equipos y civil a 207 estructuras, acciones que permitieron suministrar el servicio con la calidad, cantidad y continuidad que se requería.

Para 1988, el abasto de agua potable estaba compuesto básicamente por 847 pozos, y 240 tanques de almacenamiento y regulación, que en conjunto tenían una capacidad total de 1,500 millones de litros, además de 175 plantas de bombeo, 555 km de red primaria y 12,617 Km de secundaria.

Entre las acciones relativas a la calidad del agua, actualmente se operan 356 dispositivos de cloración, 41,000 análisis anuales de muestras de agua potable en el Laboratorio Central de Control de Calidad, el cual es considerado como uno de los más modernos de América Latina, y 522,000 lecturas de cloro. En el Laboratorio Central es factible determinar hasta 250 parámetros físico-químicos; además cuenta con el equipo para sustancias mutagénicas y detectar virus en el agua. También se cuenta con un centro de información que opera las 24 horas de los 365 días del año donde se atienden y solucionan los reportes con problemas de calidad del agua suministrada y del sistema hidráulico en general.

La política de mejorar la calidad en el suministro del servicio comenzó en 1986 con la actualización del catastro de la infraestructura hidráulica a fin de realizar eficazmente diversas labores de planeación, diseño, operación y mantenimiento. Además se inició el proceso de digitalización de planos mediante cómputo, lo que permitiría su actualización y consulta de manera ágil y oportuna. Más tarde, a partir de 1987 se hizo la automatización de la operación de pozos profundos en el Distrito Federal a fin de establecer un control inmediato desde un subcentro de operación, y en caso de una interrupción eléctrica reiniciar el funcionamiento pocos segundos después de restablecido el suministro de energía. Como complemento se controló la calidad del líquido mediante la adición regulada de cloro.

De manera adicional se estableció un sistema de vigilancia automático para detectar la presencia de cualquier persona en el sitio donde esté emplazado el pozo, lo que incrementa la protección contra actos que afectan el abastecimiento de agua y la salud de los habitantes.

Continuó el empleo de trazadores en la red de agua potable y se depuró la metodología de los muestreos para conocer con mayor certeza la forma en que el agua circula a través de las redes, y determinar en el corto plazo políticas de operación más adecuadas

para una distribución eficiente a zonas con mayores deficiencias, como el suroriente de la ciudad.

Por otra parte, con la meta de reducir los consumos excesivos de los usuarios, sin afectar las necesidades básicas ni las actividades productivas, la DGCOH ha desarrollado entre otros programas, el denominado Programa de Uso Eficiente del Agua (PUEDA), que en poco tiempo ha demostrado ser un mecanismo eficiente que permite utilizar de manera más adecuada los recursos disponibles a nivel sistema, a tal grado que a partir de 1986 se ha implantado a nivel nacional por parte del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en diversas ciudades del país. Cabe mencionar que el DDF, a través de la DGCOH, además de ser el pionero del programa, ha participado desde el inicio de su establecimiento en la República mediante aportar diversas metodologías de trabajo, políticas de operación y resultados teórico-prácticos que han contribuido a la mejor prestación del servicio de agua potable a nivel nacional.

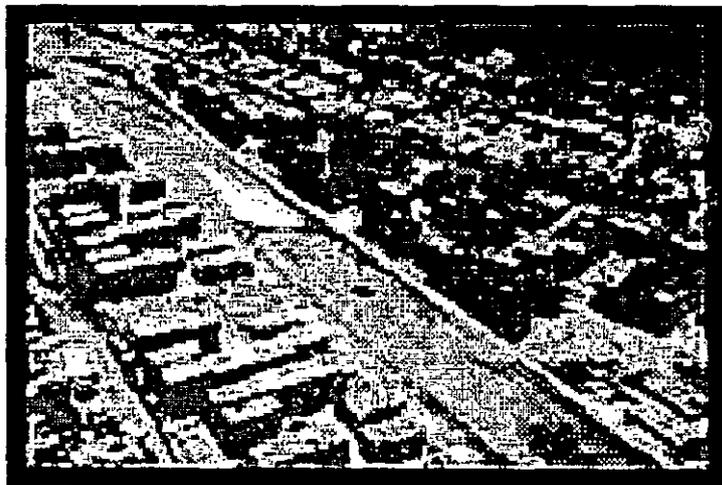
Entre las acciones relevantes desarrolladas en el Distrito Federal, destacó la colocación de 1.4 millones de bolsas ahorradoras de agua en tanques de muebles sanitarios; lo cual permitió que en cada uno el volumen de descarga fuera menor, sin perder capacidad y presión en el tanque. Adicionalmente, ha aplicado de manera continua un programa de detección de fugas intradomiciliarias, lo que no sólo ha facilitado reparar 644 mil fugas; sino también generar conciencia entre los habitantes acerca de lo indispensable y sencillo que es proporcionar mantenimiento periódico a los muebles y accesorios hidráulicos para evitar el desperdicio de agua potable y contribuir a una mejor distribución de este recurso entre la población; para ello se diseñó y puso en función un programa anual de capacitación de plomeros, lo que condujo a mantener una alta calidad en la ejecución del programa, y la continuidad requerida.

Otra actividad del Programa de Uso Eficiente del Agua, fue difundir a través de los medios de comunicación, la necesidad e importancia de utilizar adecuadamente el agua, para lo cual se elaboraron diversas campañas de concientización.

Además se continuó de manera permanente el programa de detección y eliminación de fugas en la red de distribución, se colocaron 284 mil medidores, se actualizó el padrón de

1.7 millones de tomas domiciliarias, y se revisó y adecuó el Reglamento del Servicio de Agua Potable, poniendo énfasis en las acciones tendientes a promover un uso eficiente la misma; se realizaron diversos estudios y proyectos sobre el sistema hidráulico del Distrito Federal para diseñar, e implantar acciones que contribuyeran a realizar de manera más eficiente y oportuna la planeación, ampliación, operación y mantenimiento del sistema hidráulico; se llevaron a cabo varios proyectos ejecutivos destinados a definir las características de los nuevos componentes del sistema o las modificaciones necesarias para mejorar la prestación de los servicios.

En el marco del programa de desarrollo de tecnología, se construyó la planta piloto Santa María Aztahuacán, en Iztapalapa, para experimentar procesos no convencionales en la potabilización de agua subterránea de deficiente calidad, característica del oriente de la urbe, y que también contribuyó a definir la ingeniería básica para plantas potabilizadoras, además se ha construido el Laboratorio de Ingeniería Experimental, entre cuyos resultados ha sido obtener en coordinación con la SECOFI, las bases técnicas para elaborar las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que rigen la fabricación y funcionamiento de muebles sanitarios de bajo consumo de agua, y los herrajes que forman parte de ellos, aspectos que se incluyeron con carácter de obligatorio en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, a partir de julio de 1987. Otro logro han sido las bases de diseño para reducir aún más los consumos de agua en los muebles sanitarios, además de las estadísticas de gastos de lavadoras de ropa y platos, a fin de estructurar medidas de reducción del consumo hidráulico.



Como consecuencia de los sismos de septiembre de 1985, algunos componentes se vieron seriamente dañados, lo que ocasionó irregularidades en la prestación de servicios, principalmente en el de agua potable. El daño en las tuberías de conducción fue básicamente por la propagación de ondas sísmicas a través del terreno donde se ubicaba la tubería, y el cruce de ésta por una falla de terreno donde se registraron movimientos magnificados; al respecto, hubo 38 fracturas en los ramales Tulyehualco, la Noria, Chalco y Tecómitl, pertenecientes a los acueductos del suroriente de la ciudad, lo que originó una falla de suministro de  $7.6 \text{ m}^3/\text{s}$ , es decir, 22 % del abastecimiento en esa época, afectando a más de dos millones de habitantes de las zonas centro y oriente. En las redes primarias de distribución, o sea tubos con diámetro entre 0.50 y 1.22 m, se presentaron 168 fugas en tuberías de asbesto-cemento y concreto reforzado por incrustación entre las juntas de la tubería, desacoplamiento, ruptura de la campana o espiga cerca de los atraques, o por fisuras en las piezas especiales. La mayor incidencia de fracturas de tuberías de la red primaria, fue en la de concreto tipo Lock Joint, o sea la más común en la ciudad.

Por lo que respecta a la red secundaria de distribución, la cual está formada por conductos cuyo diámetro es inferior a los 50 cm, se llegó a las 7,200 fugas, la mayoría por cambios de dirección cerca de un atraque, o por incrustación entre dos o más unidades, fractura transversal en las tuberías de asbesto-cemento, desajuste de los coples de unión, o ruptura de las piezas especiales en las cajas de válvulas.

La DGCOH emprendió inmediatamente diversas acciones de construcción, operación y mantenimiento, con lo cual en muy poco tiempo se repararon las fugas de los acueductos del sur oriente a través de colocar silletas de acero en diversas juntas y sustituir 750 m de tubería en diferentes tramos. De igual manera, para eliminar las fugas en las redes primaria y secundaria, también se implantaron silletas en las juntas, se cambiaron piezas especiales y se sustituyeron algunos tramos; dada la magnitud de las acciones por realizar se recurrió a contratar empresas y personal eventual como apoyo al área operativa de la DGCOH; además, por el volumen de fugas, la disponibilidad de piezas especiales y materiales en los almacenes de la DGCOH y de los fabricantes fue insuficiente en algunos casos, lo que incrementó el esfuerzo para corregir las fallas. A pesar de ello, 40 días después del sismo ya se había incorporado un caudal de  $7.1 \text{ m}^3/\text{s}$ , de los  $7.6$  que se dejaron de suministrar.

Paralelamente se realizó una serie de acciones de apoyo, como fue el reparto de agua gratuita a través de 465 pipas, con las cuales se distribuyó un volumen de 611 millones de litros; además, 715,000 bolsas de agua potable de un litro y la instalación en coordinación con la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, SARH, y otros organismos, de 89 tanques portátiles con capacidad variable entre 3 y 11.5 m<sup>3</sup>, que fueron donados por el gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica y la UNICEF. Su llenado se realizó mediante carros pipa del Departamento del Distrito Federal y de los estados de México, Michoacán, Jalisco, Puebla, Tlaxcala, Nuevo León, Quintana Roo, Guanajuato y Aguascalientes, así como de diversas empresas privadas, estableciéndose una estrecha coordinación con las delegaciones políticas para determinar los horarios, periodicidad de llenado, y control e higiene en su utilización.

Respecto a la calidad del líquido suministrado, se realizaron durante el periodo de emergencia 59,400 análisis; en este sentido cabe mencionar que el programa normal de monitoreo anual de la DGCOH comprende el análisis de 70,000 muestras, lo que refleja el esfuerzo realizado para contribuir y evitar riesgos de epidemias o enfermedades infecciosas.

Los daños en los componentes del sistema originaron que el abastecimiento no se mantuvo al nivel requerido para atender a los habitantes, por lo que el Departamento del Distrito Federal, a través de la DGCOH, participó con otros organismos y dependencias en un grupo de trabajo, cuyo objetivo fundamental fue revisar los criterios de diseño de redes y normas vigentes para la fabricación de tuberías de agua potable y drenaje en zonas sísmicas.

En 1989 se inició el programa de sustitución de muebles sanitarios, con lo que se logró un importante ahorro de agua potable, habiéndose sustituido 540 mil a finales de 1994, año en el que se realizó la campaña sobre uso eficiente del agua en las escuelas, habiéndose premiado a las que lograron una mayor detección de fugas. También se llevó a cabo el concurso " Superinspector H<sub>2</sub>O" entre 120,000 alumnos de cuarto y quinto grados de las escuelas primarias el cual se realizaba año con año.

Por otra parte, se sustituyeron siete pozos profundos y se rehabilitaron 36 que presentaban mal funcionamiento, logrando con esto mantener el mismo volumen de

extracción de agua; se construyeron (1991) cuatro tanques de almacenamiento, seis plantas de bombeo, se amplió la red primaria en 14.4 km y la secundaria en 17.6 km, y se continuó el acueducto perimetral Acuaférico, con la excavación de 1,519 m en túnel y el revestido de otros 2,740 m; en 1994 se cuenta con 22 km de la operación.

Con objeto de lograr un mejor control de las instalaciones del sistema de agua potable, se siguió con el programa de automatización, lográndose equipar 131 pozos, 56 rebombes y 62 tanques de almacenamiento, y en el de mantenimiento se desarrollaron 800 acciones correctivas, preventivas y electromecánicas, 162 de reparaciones civiles, 6 fugas por kilómetro de red reparados anualmente, 190,000 fugas intradomiciliarias, 94,000 medidores colocados y 41,000 reportes atendidos.

Se puede decir que a través de todo ese esfuerzo, se logró para 1991 un nivel de servicio de agua potable en el Distrito del 98% con cobertura vía red, una dotación de 364 l/hab/día y tener sólo un 2% de la población servida con carros tanque (pipas).

En el periodo 1990-1994 la población del Distrito rebasó los ocho millones de habitantes, siendo la Delegación Iztapalapa la que contaba con mayor número de habitantes, (más de 1.5 millones), y la Iztacalco la más densamente poblada, con casi 19,500 hab/km<sup>2</sup>.

La infraestructura de agua potable en operación en 1994 está compuesta básicamente por captaciones en 847 pozos y 47 manantiales que surten 35 m<sup>3</sup>/s; 253 tanques de almacenamiento y regulación, con capacidad conjunta de aproximadamente 1.57 millones de m<sup>3</sup>; 490 km de líneas de conducción; 183 plantas de bombeo; 690 km. de red primaria, con diámetros entre 0.50 y 1.23 m; más de 10,000 km de red secundaria, con diámetros hasta de 0.50 m; 16 plantas potabilizadoras de las cuales 12 son a pie de pozo, 356 dispositivos de cloración; y 23 estaciones instrumentadas para la medición en tiempo real del agua recibida en bloque.

## **IMPORTANCIA Y BENEFICIOS DE LAS OBRAS HIDRÁULICAS.**

Nuestro planeta cuenta con 1,385 millones de kilómetros cúbicos de agua. De este volumen, menos del uno por ciento es agua dulce fácilmente aprovechable. La distribución temporal y espacial de esta agua dulce es muy variable. Canadá, por ejemplo, dispone anualmente de 109 mil metros cúbicos por habitante cuando el promedio anual es inferior de 2,500 metros cúbicos por habitante al año. En México, el promedio per cápita es de solamente cuatro mil.

Debido a la forma en que se ha utilizado el agua en el mundo, en la actualidad contemplamos un panorama de escasez, sobreexplotación y contaminación. El agua es una limitante del desarrollo sostenible de muchas naciones.

Nuestro país, a la altura del Trópico de Cáncer, con una superficie de mas de 200 millones de hectáreas, ofrece un amplio mosaico de sistemas naturales: tierras cálidas, templadas y frías; montañas con nieves eternas, extensas llanuras, selvas tropicales y bosques de altura; desiertos y pantanos.

Casi la tercera parte del territorio nacional es desértico y árido, en otra parte es semiárido y el resto es húmedo y subhúmedo. La combinación de agua y suelo disponibles, solo permiten dedicar a la agricultura una superficie de 32 millones de hectáreas. Actualmente se cultivan poco mas de 20 millones de hectáreas; 6 millones con riego y el resto de temporal. La superficie restante sigue destinada, en su mayor parte, a la ganadería.

La distribución de la lluvia en el territorio es muy irregular, tanto en el tiempo, como en el espacio. Mientras que en el sureste se registran precipitaciones anuales de mas de 3,500 milímetros, en zonas próximas al Río Colorado, en el noroeste, llueven menos de 50 milímetros. La lluvia anual promedio es de 780 milímetros, concentrada en el verano, con excepción de una porción en el noroeste del litoral del Pacífico, donde la temporada lluviosa ocurre en invierno.

A causa de su situación geográfica, México está sujeto a fenómenos meteorológicos extraordinarios. Recibe por ambos litorales una alta incidencia de ciclones, que producen avenidas torrenciales y causan daños a las poblaciones y a las áreas productivas. En

contraste, la mayor parte del país padece sequías mas o menos prolongadas y frecuentes. La disponibilidad natural de agua en el país se compone del escurrimiento en los ríos, con un promedio de 410 mil millones de metros cúbicos de agua al año, y la renovación de los acuíferos subterráneos, que proporcionan otros 30 mil millones de metros cúbicos. Además se estima un almacenamiento de otros 110 mil millones de metros cúbicos en acuíferos fósiles.

La demanda de agua de la sociedad mexicana hace necesario extraer 185 mil millones de metros cúbicos de aguas superficiales y subterráneas, es decir, alrededor del 40% del volumen anual promedio disponible. Del volumen total extraído, sólo se consumen cerca de 66 mil millones de metros cúbicos, principalmente en la agricultura. Aún cuando los volúmenes de extracción y consumo en la industria no son significativos, este sector es la principal fuente de contaminación de ríos y acuíferos.

El superávit en el balance nacional no refleja los problemas que afectan a una gran parte de las cuencas. Los balances regionales de agua muestran un déficit considerable en casi la mitad del territorio. Esta situación se agrava con el hecho de que, históricamente, la distribución de las actividades humanas no ha tenido correspondencia con la disponibilidad de agua. En el norte y en el altiplano central, que representan mas de la mitad del territorio, se localizan dos terceras partes de la población, mas del 70% de la industria manufacturera y el 40% de la superficie agrícola, en tanto que solo reciben el 19% del escurrimiento promedio anual; mientras, en el sureste, con menos de la cuarta parte del territorio y de la población, escurre el 60% del volumen total. Este contraste se lleva al extremo con el hecho de tener a la cuarta parte de la población asentada en regiones mas allá de los 2,000 metros de altura sobre el nivel del mar, donde ocurre sólo un 4% del escurrimiento.

Para contrarrestar esta situación, ha sido necesario realizar un gran esfuerzo para desarrollar una capacidad de regulación del agua que escurre por los cauces. Actualmente existen mas de 155 mil millones de metros cúbicos de capacidad en presas construidas que se suman a los 14 mil millones de metros cúbicos de almacenamiento natural en lagos y lagunas. Esta capacidad permite regular las variaciones estacionales y anuales del escurrimiento en los ríos y hacer disponible el recurso en épocas de escasez.

## **Programa nacional de irrigación y drenaje**

En el campo mexicano la política del agua se instrumenta a través del Programa Nacional de Irrigación y Drenaje. México es uno de los países más poblados del mundo. Ocupa el duodécimo lugar en número de habitantes. Su crecimiento poblacional es todavía elevado, por lo que su demanda de alimentos crece también en forma acelerada.

Con alrededor de seis millones de hectáreas, México ha llegado a ocupar el séptimo lugar entre los ochenta países que cuentan con infraestructura de riego. El esfuerzo nacional desarrollado en los últimos 68 años hizo posible que la superficie bajo riego aumentara de un millón de hectáreas, existentes en 1926, a más de 6 millones, cifra que hoy en día representa el 30 por ciento de las tierras cultivadas.

En dicha superficie se genera el 50 por ciento de la producción agrícola nacional y el 65 por ciento de las exportaciones; su impacto incremental en el Producto Interno Agropecuario se estima en 10 mil nuevos pesos anuales, a precios actuales, por cada hectárea adicional irrigada.

La infraestructura hidráulica construida en el territorio nacional ha permitido el establecimiento de 77 distritos de riego en 3.2 millones de hectáreas y 27 mil pequeñas unidades que cubren otros 2.8 millones de hectáreas. Se cuenta con 130 grandes presas, más de 1,200 presas medianas, 2,090 presas derivadoras, 77 mil pozos profundos, 68 mil kilómetros de canales, 47 mil kilómetros de drenes y 54 mil kilómetros de caminos. De 1926 a la fecha, se han incorporado al riego un promedio de 78 mil hectáreas anuales.

La frontera agrícola de riego es, aproximadamente, de 10 millones de hectáreas: casi 1.7 veces la superficie que actualmente se encuentra bajo riego. La mayor parte de las tierras agrícolas subutilizadas se encuentran en el trópico húmedo, en tanto el mayor potencial de tierra apta para riego se localiza en el noroeste.

Para aumentar las superficies en producción agrícola se realizan obras de drenaje agrícola en áreas de buen suelo, con temporal eficiente y subutilizado, por estar dedicadas a la ganadería extensiva o por estar enmontadas.

El desarrollo de los proyectos de riego involucra también la solución de una compleja problemática social que se inicia desde su concepción. La construcción de la presa Miguel de la Madrid (Cerro de Oro), que hoy abre nuevos caminos al desarrollo de una vasta región en las llanuras costeras del Golfo de México, es quizás, uno de los mejores ejemplos de esta problemática social.

Los criterios ambientales son también elemento central de la nueva política del agua. En este sentido la construcción de nueva infraestructura hidroagrícola responde a criterios de conservación de nuestros recursos naturales que garanticen la sustentabilidad de los proyectos.

La dificultad técnica que plantean los nuevos proyectos obliga a que se aprovechen los avances tecnológicos y se enriquezca, con nuevas experiencias, la práctica de la ingeniería hidráulica, tal es el caso de la presa Trigomil, con cortina de concreto compactado con rodillo, que en su tipo es una de las más importantes en América.

El Sistema Hidráulico Interconectado del Noroeste (SHINO), comprende la interconexión de los aprovechamientos locales desde el Río Presidio, cerca de Mazatlán, hasta la zona de los ríos Mayo y Yaqui, en una extensión de 1,200 kilómetros, para ampliar la superficie de riego en 250,000 hectáreas aproximadamente, y mejorar las condiciones productivas en un área de 1.5 millones de hectáreas. Los avances logrados a la fecha en la interconexión de sistemas hidrológicos incluyen 700 kilómetros de canales desde el río Elota hasta el río Mocorito además de los avances en la zona de riego Fuerte-Mayo y en la rehabilitación y modernización de los distritos de riego del sistema.

El SHINO tiene ahora un gran impulso con el inicio de los trabajos de construcción de la presa Huites, una obra fundamental que permitirá incorporar al riego 70 mil nuevas hectáreas, controlar inundaciones en las márgenes del río Fuerte y generar energía eléctrica. Esta obra de propósitos múltiples permite entrar de lleno en un nuevo esquema de participación del sector privado y financiamiento de grandes proyectos de desarrollo que tienen garantizada su rentabilidad.

Para definir el monto y la distribución de las inversiones en proyectos que benefician nuevas superficies con infraestructura de riego y drenaje, así como los que permiten

rehabilitar, mejorar o modernizar las áreas bajo riego existentes, la Comisión Nacional del Agua mantiene un proceso ordenado y sistemático para la generación de estos proyectos y para programar su ejecución.

Se tiene identificada una cartera con 1,180 proyectos en 8 millones de hectáreas, de las cuales el 10 por ciento van a incorporarse al riego, el 57 por ciento permitirá mejorar las condiciones productivas en áreas de riego existentes, 22 por ciento comprende la ejecución de obras de fomento a la agricultura de temporal, y 10 por ciento a las áreas por proteger contra inundaciones.

En el marco de la nueva política del agua, se estableció como premisa fundamental transformar la relación Estado-Sociedad, de una situación de dependencia a una de plena corresponsabilidad. Se planteó que, con el apoyo necesario del Gobierno Federal, a través de la Comisión Nacional del Agua, la operación y conservación de la infraestructura hidráulica, y la administración del servicio de riego, quedará a cargo de los propios usuarios del servicio. Esta política quedó plasmada en el Programa Nacional para la Descentralización de los Distritos de Riego, que se propuso transferir, durante la presente administración, 316 módulos con una superficie de 2.5 millones de hectáreas que representa el 78 por ciento del área total regada en los 77 Distritos de Riego del país.

El proceso de transferencia considera diversas acciones a fin de organizar Asociaciones Civiles de Usuarios en los Distritos, a las cuales se les entrega un Título de Concesión de Agua y el correspondiente Permiso para la Utilización de la Infraestructura Hidráulica, de manera que accedan en condiciones legales a operar, conservar y administrar sus obras.

Por su parte, la Comisión Nacional del Agua conserva la rectoría en el uso del agua, opera y conserva las obras de cabeza y las redes principales de canales y drenes, lleva a cabo las actividades de ingeniería de riego y drenaje, la supervisión general, y establece programas de capacitación y entrenamiento al personal de las asociaciones.

## **Presas para usos múltiples**

La construcción de presas en México ha sido, tradicionalmente, el centro de gravedad de la obra hidráulica. Esta situación se explica en los propósitos mismos de las obras:

- Los distritos de riego del país se abastecen en un 90 por ciento con aguas superficiales que es necesario regular en un vaso de almacenamiento y distribuir mediante agua presa derivadora. El desarrollo de la frontera hidroagrícola se va a lograr con agua superficial.
- El abastecimiento de agua potable a las principales ciudades, se apoya, parcial o totalmente, en vasos de almacenamiento. La tendencia muestra que en el abastecimiento de agua a los sistemas urbanos desde fuentes distantes, el aprovechamiento de agua superficial mediante nuevas presas va a desempeñar cada día un papel más significativo.
- Existen presas con capacidad de control en las principales cuencas del país que ofrecen protección contra las inundaciones recurrentes a las zonas productivas, la infraestructura y las poblaciones ribereñas.
- En las presas hidroeléctricas para usos múltiples se genera el 18% de la energía eléctrica que requiere el país y la mayor parte de la energía de picos. Existe todavía un importante potencial de hidroelectricidad por aprovechar en México.

Al mismo tiempo, una vez aprovechados los vasos y boquillas que presentaban condiciones más favorables, la construcción de presas ofrece una problemática cada día más compleja, debido a una combinación de factores:

- En obras de riego, la superficie que se beneficia guarda una proporción cada vez menor a la que se inunda con el vaso.
- Se producen afectaciones más significantes de los asentamientos y actividades productivas en los terrenos inundados.
- Se tienen problemas cada vez más serios con la geología en vasos y boquillas.
- No hay suficientes suelos aptos para el riego cerca de la presa y se requieren conducciones cada vez más distantes.
- Se pueden producir severos impactos ambientales.

Todo ello se traduce en mayores costos y dificultad en su ejecución y por lo mismo, las nuevas presas, en particular las grandes presas, son estudiadas y evaluadas cada vez con mayor detalle. Por lo general sólo pueden justificarse cuando sirven a propósitos múltiples. Esto hace que, con más frecuencia, las presas sirvan, al mismo tiempo para riego, control de inundaciones y generación hidroeléctrica o abastecimiento de agua potable.

Simultáneamente, el imperativo de apoyar a los productores rurales con un aprovechamiento más eficiente de las cuencas, hace necesario construir presas medianas y pequeñas que otorguen seguridad a su agricultura. El programa de pequeña y mediana irrigación constituye una derrama directa de inversión pública en las zonas que más necesitan el impulso de la federación y de los estados para consolidar su desarrollo.

La Comisión Nacional del Agua ha heredado esta tradición técnica y capacidad ejecutora de la federación para ponerla a disposición de los usuarios, por conducto de los gobiernos estatales y municipales y de sus propias organizaciones. Durante sus casi 6 años de existencia, la Comisión ha promovido y ha visto multiplicarse los nuevos esquemas de participación y descentralización, también en este terreno tan especializado.

A la Comisión le correspondió llevar a cabo la conclusión de las obras de la presa Miguel de la Madrid Hurtado (Cerro de Oro) que, mediante la intercomunicación de los vasos de Cerro de Oro y Temascal (Miguel Alemán), permite ampliar la capacidad de generación hidroeléctrica del sistema regional, además de proteger 200 mil hectáreas contra inundaciones. La comunicación fluvial de los pobladores ribereños y la pesca, han reforzado las acciones previas de reacomodo, para lograr una mejoría sensible de su nivel de bienestar.

También se concluyeron, durante los 6 años de la administración, los trabajos de construcción de las presas Chilatán (Constitución de Apatzingán), Trigomil (Gral. Ramón Corona Madrigal) y Trojes. Con la primera, se consolida el riego en el valle de Apatzingán, y se avanza en la culminación del anhelo de los pobladores de la Tierra Caliente, que planteara desde sus orígenes la extinta comisión del Tepalcatepec: El aprovechamiento integral de la cuenca, que consolida el riego en más de 100 mil hectáreas e incrementa el aprovechamiento de su potencial hidroeléctrico. La presa Trigomil, además de sentar un

precedente en México para el empleo del concreto compactado con rodillo, consolida el Distrito de Autlán-El Grullo, mejora el control de avenidas y abre nuevas perspectivas al aprovechamiento del agua en la cuenca del río Armería, en los estados de Colima y Jalisco. También en los límites de estos dos estados y en beneficio de la población del valle del río Coahuayana, se completa la construcción de la presa Trojes.

En proyecto conjunto con los gobiernos de los estados de Nuevo León y Tamaulipas y en apoyo de los organismos operadores de sistemas de agua potable de la ciudad de Monterrey (Servicios de Agua de Monterrey) y del propio estado de Nuevo León (Sisteleón), se construye la presa El Cuchillo – Solidaridad, principal obra de cabeza del Sistema Monterrey IV, para el abastecimiento de esta zona metropolitana y poblaciones de la cuenca del río San Juan con un caudal que llegará hasta 10 metros cúbicos por segundo, y que permite la regulación y mejor aprovechamiento de los escurrimientos de esta corriente, en beneficio de los distritos de riego y zonas urbanas de la cuenca baja, en Tamaulipas.

Ante la urgencia de garantizar el abastecimiento de agua a la zona metropolitana de Guadalajara en un esquema que asegure la preservación del Lago de Chapala, la Comisión, en apoyo al Gobierno del Estado de Jalisco, llevó a cabo el proyecto y la construcción de las dos primeras presas de almacenamiento del sistema La Zurda: las presas Calderón (Elías González Chávez) y el Salto, que hacen posible el suministro de los primeros 4 metros cúbicos por segundo de este sistema.

Como culminación de un proceso de planeación y negociación con los gobiernos y productores agrícolas de los estados de Sinaloa y Sonora y la Comisión Federal de Electricidad, mediante un novedoso esquema de concesión de la infraestructura y financiamiento de la inversión, se concretó el proyecto de la presa Huites, un eslabón del Sistema Hidráulico Interconectado del Noroeste.

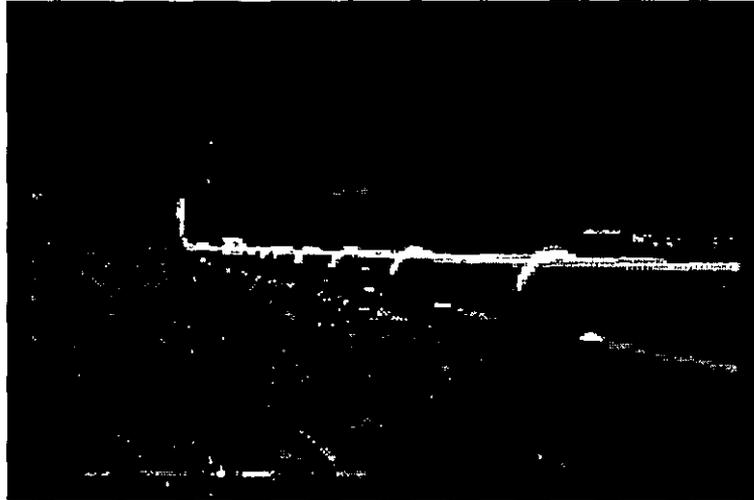
Además de las grandes presas para usos múltiples, la Comisión ha proseguido con la obra de mediana y pequeña irrigación que también se convierte en aprovechamiento multipropósito a comprender el control de inundaciones o, en otros casos, el abastecimiento de agua potable.

## **Pequeña y Mediana Irrigación**

En coordinación con los gobiernos estatales de Zacatecas, Chihuahua, Coahuila, Durango en el norte, Guanajuato, Jalisco, Morelos, México, Puebla, y Querétaro en el centro, Guerrero y Oaxaca en el sur, Sinaloa y Sonora en el noroeste, se han construido 23 presas de almacenamiento medianas y pequeñas y 3 presas derivadoras, que benefician a más mexicanos con riego, protección contra inundaciones y abastecimiento de agua potable.

## SUMINISTRO Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA

Las grandes civilizaciones se han situado y desarrollado cerca de las márgenes de los ríos, y/o lagunas, siempre cerca de donde había suficiente agua, para cubrir las necesidades del hombre.



A principios del siglo XX se inició la extracción de agua subterránea del acuífero de la cuenca 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 0.0 a los 30 cm anuales, afectando considerablemente a la infraestructura urbana.

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. Como resultado de este problema, el Departamento del Distrito Federal creó el Programa del Uso Eficiente del Agua.

Sin embargo esto no fue suficiente: la población seguía creciendo anárquicamente con tasas muy altas, ni había nada que pudiera ordenar el crecimiento urbano y demográfico, ni tampoco agua e infraestructura suficiente para que todos los

habitantes de la Ciudad de México contarán con un adecuado servicio de agua potable.

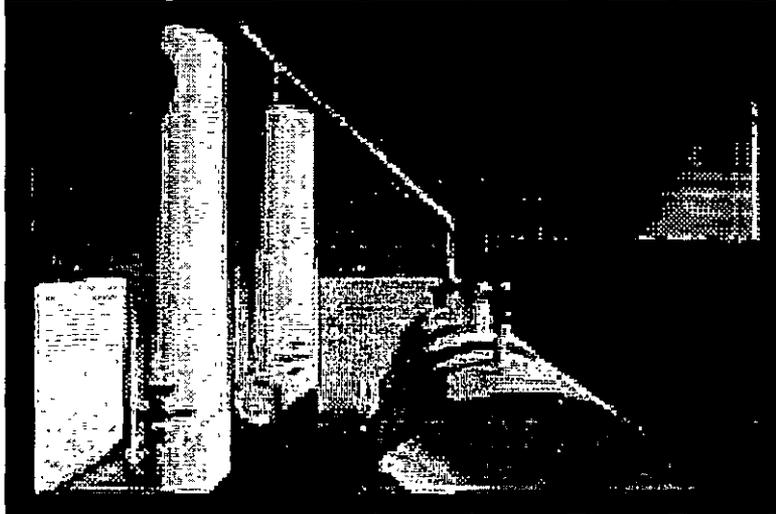
Debido a esta situación, las autoridades realizaron los estudios necesarios para importar agua para consumo humano de una segunda fuente externa. De los análisis correspondientes se seleccionó la cuenca del río Cutzamala, que es la fuente de abastecimiento más reciente, y proveerá a la zona metropolitana de la ciudad de México, en su etapa final, con  $24 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

El sistema Cutzamala comenzó a construirse en 1976 y consiste en: aprovechamiento de 7 presas de almacenamiento pertenecientes a la cuenca alta del río Cutzamala; 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  $24 \text{ m}^3/\text{seg}$ ; seis plantas de bombeo para vencer un desnivel de 1200 m.

También es necesario construir 24.5 km de túneles en su primera etapa dentro de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México que corresponden a los ramales Norte y Sur de 12.5 y 12 km, respectivamente. El ramal norte está a cargo de la Comisión Nacional del Agua y de la Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento del Estado de México, el ramal Sur es responsabilidad del Departamento del Distrito Federal y de la Secretaría de Obras y Servicios, a través de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. Ahora debería planearse la forma más eficiente para distribuir los caudales que proporciona el sistema Cutzamala.

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 muestra de esta nueva política, y 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 ciudad, en 1983 dio inicio la construcción del Acueducto Perimetral de la ciudad de México.



Como parte del sistema Cutzamala se construyó el túnel Analco-San José, entre los pueblos de San Mateos Atarasquillo y Dos Ríos-ambos situados en el Estado de México, con una longitud de 12 Km. Aquí da inicio el Acueducto Perimetral, que funciona 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, sobre todo a las zonas más alejadas, como es el oriente de la ciudad. El Acueducto Perimetral se caracteriza por ser una obra metropolitana, puesto que dará servicio tanto al Distrito Federal, como a una parte del Estado de México.

En virtud de la magnitud de la obra del Acueducto Perimetral se optó por dividir su diseño, construcción y operación en cuatro etapas.

La primera etapa se conoce con el nombre de Ramal Sur e inicia en el portal de salida del túnel Analco-San José en el Estado de México, entra por el poniente del Distrito Federal en las delegaciones Cuajimalpa y Alvaro Obregón, y concluye en la trifurcación Cerro del Judío en la Delegación Alvaro Obregón. El túnel tiene un diámetro de 4 m, una capacidad de conducción de  $25 \text{ m}^3/\text{seg}$  y una longitud de 12 km.

Su desarrollo es prácticamente paralelo al llamado Ramal Sur del Acueducto Lerma, disponiendo de cuatro líneas de derivación que son el Cartero, Santa Lucía, Villa Verdún y el Judío.

La segunda etapa del Acueducto Perimetral comprende el tramo de la trifurcación el Judío, en la delegación Alvaro Obregón, hasta el portal de salida del Ajusco en la delegación Tlalpan. Esta etapa tiene un desarrollo de 10.5 km con un diámetro de 4 m.



La tercera etapa con una longitud de 12 km, que inicia en la zona del Ajusco para terminar en la cuarta derivación ubicada en el poblado de San Francisco Tlalnepantla, delegación Xochimilco, el túnel terminado tendrá un diámetro de 3.20 m y, para su construcción, se utilizará una máquina tunelera (Topo), que permite incrementar los rendimientos en la excavación.

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. En el año de 1983 comenzó la construcción del acueducto perimetral en su primera etapa, para fines constructivos esta se dividió en 4 tramos que son:

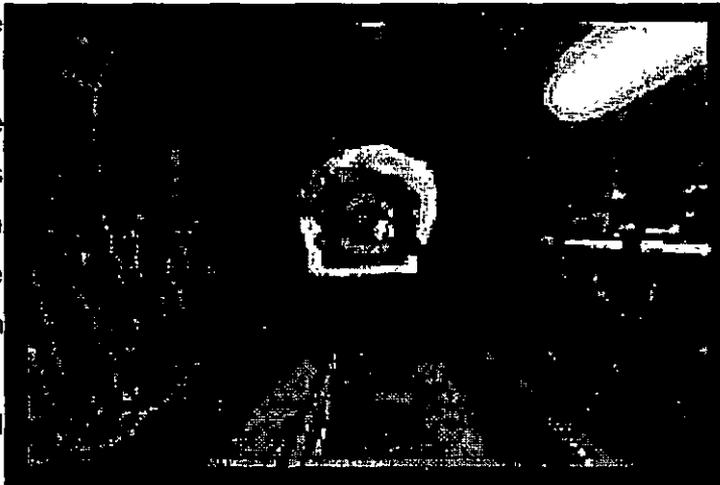
	<b>Tramo</b>	<b>Longitud (m)</b>
1.	San José-El Borracho	1,807
2.	El Borracho- El Cartero	314
3.	El Cartero- Plateros	2,096
4.	Plateros-Cerro del Judío	2,752
	<b>Total</b>	<b>10,969</b>

También se construyeron 4 sifones para cruzar las barrancas, constituidos por dos tuberías paralelas de acero de 2.51 m de diámetro.

	<b>Sifón</b>	<b>Longitud (m)</b>
1.	San José	350
2.	El borracho	396
3.	Santa Lucía	380
4.	Plateros	110
	<b>Total</b>	<b>1,236</b>

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.

Para definir el proceso de ataque de túnel se construyeron dos Cerros de 6 m de altura que se localiza en la delegación Uno de igual altura



los frentes de acuerdo al constructivo del túnel que tuvieron que lumbreras. La de diámetro y 41 profundidad, que Santa Fe, en la Cuajimalpa; y la diámetro y de profundidad de

37 m que se ubica en Santa Bartolo Ameyalco en la delegación Alvaro Obregón. La primera etapa de Acueducto Perimetral entró en operación en el año de 1988, beneficiando a 400 mil habitantes, con un caudal de 8m<sup>3</sup>/seg.

En el año de 1987 se inició la construcción de su segunda etapa, para ello se dividieron sus 10.5 Km de longitud en cuatro tramos y se requirió la construcción de la lumbrera 2 que se ubica en la delegación Tlalpan, con un diámetro de 8 m y profundidad de 67 m.

Tramos de la segunda etapa:

	<b>Tramo</b>	<b>Longitud (m)</b>
1.	Cerro de Judío-Magdalena	2,939
2.	Magdalena-Providencia	678
3.	Providencia-Lumbrera 2	2,717
4.	Lumbrera 2-Ajusco	2,582
	<b>Total</b>	<b>9,916</b>

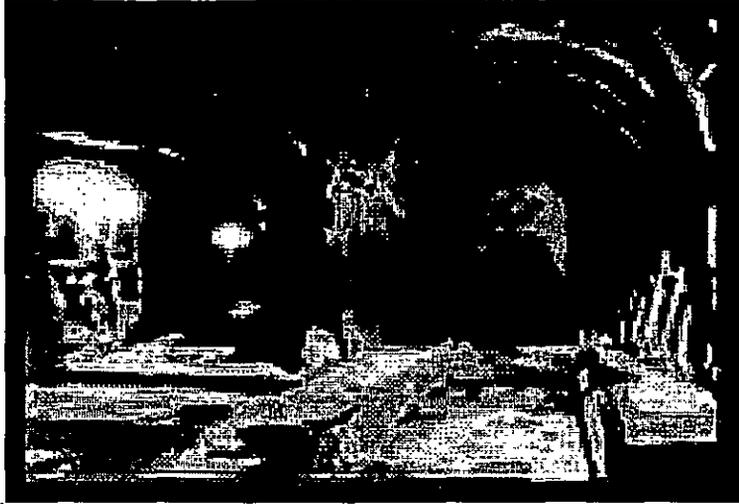
Además se construyeron 3 sifones, similares a los primeros:

	<b>Sifón</b>	<b>Longitud (m)</b>
1.	El Judío	151
2.	Magdalena	582
3.	Providencia	413
	<b>Total</b>	<b>1,146</b>

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

A principios de 1995, se inició la construcción de la tercera etapa, que tendrá una longitud de 12 Km. la que a la fecha (1998) se cuenta con la excavación y se continúa con el revestimiento.

La cuarta etapa constructiva del Acueducto Perimetral está considerada a mediano plazo. Tendrá una longitud de 16 Km, desde San Francisco Tlalnepantla hasta el Cerro del Tehutli, con un tramo de 9 km de túnel y 7 km de tubería de 1.82 m de diámetro.



A lo largo del trazo del Acueducto Perimetral, se han realizado diversos tipos de estudios geológicos, con la finalidad de predecir el comportamiento del suelo para diseñar el método constructivo más adecuado, así como la ingeniería estructural de cada tramo del túnel. Los estudios realizados muestran que su trazo se ubica dentro de un macizo rocoso que va desde roca sana hasta basalto fracturado, encontrándose también grandes zonas de escorias, además de lentes de arena y arcilla. Los diseños de soportes son variados: los hay con concreto lanzado de 3 ó 10 cm de espesor, algunos con malla electrosoldada; en otros casos se debe colocar también anclas de fricción de 1 hasta 4 m de longitud de diferentes diámetros y ángulos de inclinación, o de marcos metálicos IPR de 6 x 4 pulgadas o la combinación de ambos. Los túneles del Acueducto Perimetral que están en funcionamiento fueron construidos básicamente mediante el empleo de explosivos y pistolas neumáticas, que se conoce como el método convencional.

### **Método Convencional**

El túnel del Acueducto Perimetral que hoy se encuentra en operación, fue construido 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 de 3 a 10 cm de espesor, revestimiento definitivo de 25 cm concreto armado, para dejar una sección hidráulica terminada de 4 m de diámetro.

### **Construcción de la tercera etapa**

Método Máquina perforadora de túneles ( TBM )

Con el propósito de dar mayor rapidez a la construcción del Acueducto Perimetral, se analizó 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 máquina perforadora de túneles ( TOPO ) de manufactura Americana fue la más idónea para este tipo de suelo.

**Principales especificaciones técnicas del equipo:**

- 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
- Potencia de los motores 250.00 H.P c/u
- Fuerza de empuje 8
- Velocidad de rotación de la cabeza cortadora 11 RPM (máx.) 180 RPM (mín)
- Par motor de la cabeza cortadora 755.00 KNM
- Discos cortadores 25
- Diámetro de los discos cortadores 43.00 cm
- Peso de la máquina tunelera 185.00 Ton.
- Extracción máxima de rezaga 180.00 Ton./Hr.
- Avance en excavación 16.00 M/día

Este procedimiento de excavación inició su operación en la tercera etapa constructiva del Acueducto Perimetral, permitiendo un rendimiento promedio 20 m/día.

Con la utilización del topo en la excavación del túnel se tendrá 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 tendrá una sección terminada de 3.20 m.

El 15 de diciembre de 1993 se inició la construcción de 12 Km correspondiente a la tercera etapa del Acueducto Perimetral, que da principio en la zona del Ajusco y terminará en la cuarta derivación ubicada en la zona de San Francisco Tlalnepantla,

delegación Xochimilco. En este tramo se utilizará la máquina tunelera denominada "Topo".

El 27 de enero de 1997, se concluyó la excavación de 6,307 m de túnel comprendidos entre la derivación 3 y 4 que contará con un diámetro terminado de 3.20 m. adicionalmente se han excavado mediante el procedimiento convencional 560 m, de la derivación 3A y 1,410 m en la derivación 3, por lo que se tienen excavados a la fecha 8,277 m de túnel, de un total de 12 km lo que representa un 69% de la tercera etapa, la cual se tiene programada terminar en diciembre de 1998.

Con la conclusión de la tercera etapa del Acueducto Perimetral, se pondrá en operación la tercera derivación con lo que se beneficiará 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 beneficiará a los poblados de Topitejo y Párres en Tlalpan, San Francisco Tlanepantla, San Andrés Ahuayucan, Santa Cecilia, San Mateo y la cabecera delegacional de Xochimilco.

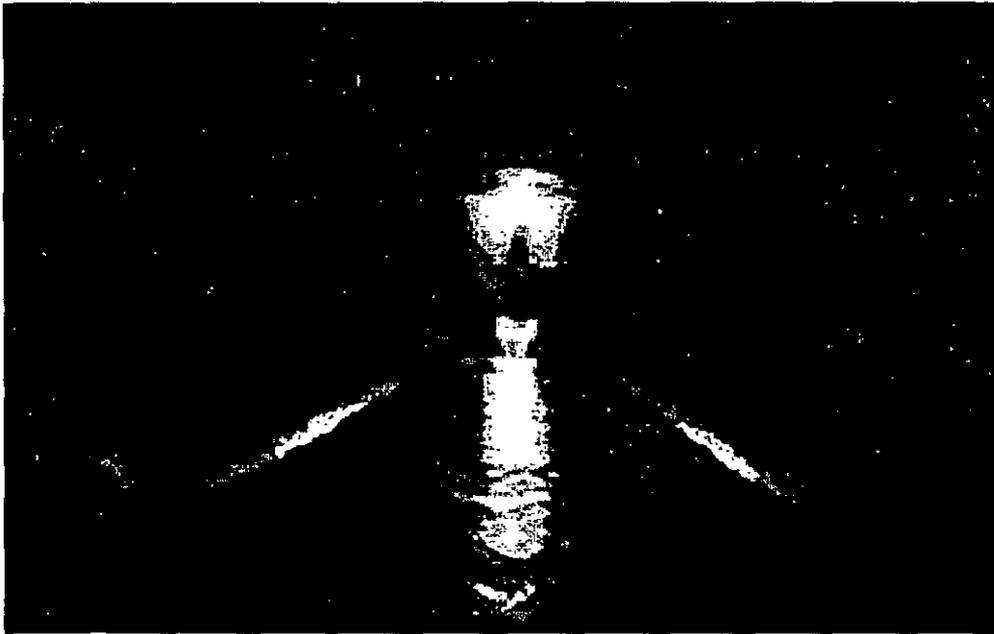
### **Situación actual**

A la fecha se tienen terminados y en operación 22 Km del Acueducto Perimetral, lo que permite beneficiar a 800 mil habitantes de las colonias: Lomas de Padierna, Héroes de Padierna, Pedregal de Chichitcaspatl, San Nicolás Totolapan, Pedregal de San Nicolás, Torres de Padierna y Ejidal del Pedregal en las Delegaciones Magdalena Contreras, Coyoacán, Alvaro Obregón y Tlalpan. Con la puesta en operación de las etapas 1 y 2 del Acueducto Perimetral se mejoró el suministro de agua potable en la zona surponiente del Distrito Federal. Una vez que entren en operación las etapas subsecuentes se lograrán beneficios similares para las zonas orientes y suroriente 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 carroscisterna. 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, localizados éstos al sur y poniente de la ciudad.

Con relación a las perspectivas de suministro de agua potable a la Ciudad de México y su zona conurbada, el Departamento del Distrito Federal, la Comisión Nacional del Agua 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 abastecimientos.

En la medida que el Programa de Uso Eficiente del Agua se siga difundiendo y continúe mostrando resultados positivos en el ahorro del consumo de agua potable y además se incorporen nuevos caudales provenientes del sistema Cutzamala, se dejará de extraer agua del acuífero del Valle de México para así tratar de conseguir un equilibrio entre su extracción y su recarga.



**El Acueducto perimetral proporcionará una mejor distribución de agua potable a menor costo, debido a su funcionamiento por gravedad.**



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS INSTITUCIONALES  
COMISIÓN DEL AGUA DEL ESTADO DE MÉXICO**

**HIDROLOGIA URBANA**  
Del 11 al 15 de octubre de 1999.

*Conceptos Básicos*

Ing. Gabriel Lorenzo Páramo  
Palacio de Minería  
1999.

## **CONCEPTOS BÁSICOS.**

### **CICLO HIDROLOGICO.**

Se estima que el volumen total del agua sobre la Tierra se ha conservado constante desde su aparición en el Planeta (hace unos 570 millones de años). Dicha conservación se rige por el Ciclo hidrológico que relaciona el volumen a través de los tres estados físicos del agua, en una cantidad total estimada en 1460 millones de Km<sup>3</sup>. El ciclo consiste en un movimiento incesante del agua, promovido por la evaporación, evapotranspiración, precipitación pluvial, infiltración al subsuelo, afloramiento de aguas subterráneas, nevadas, granizadas, hielos eternos, deshielos, cauces y escurrimientos.

### **PRECIPITACION PLUVIAL.**

La lluvia o precipitación pluvial es un fenómeno meteorológico que en México según Wallén (1955), se ve afectado por cinco factores:

- El desplazamiento hacia el norte o hacia el sur de la zona intertropical de convergencia que introduce variaciones anuales de la precipitación. En invierno, cuando ésta zona se desplaza hacia el sur, los alisios actúan en la parte sur, en cambio en la parte norte tiene la influencia de los vientos del oeste de las altitudes medias. En verano la zona de convergencia se desplaza al norte por lo que domina un sistema de vientos del este o sureste que provienen del centro tropical de alta presión del Atlántico y van hacia el de baja presión del continente.
- La localización, extensión e intensidad de los centros de alta presión tanto del Atlántico como del Pacífico de los que dependen los alisios en el área terrestre mexicana.
- Las perturbaciones en verano, de los alisios del este sobre México en concordancia con la posición de la zona de convergencia que en ésta época se desplaza hacia el norte.
- La influencia de los ciclones que se originan en relación con "las ondas del este" (Casterly Waves) y producen gran parte de la precipitación del verano y principios del otoño.
- La influencia de las depresiones ciclónicas asociadas con los vientos del Oeste de las latitudes medias que atraviesan la parte norte del país en invierno.

Debe considerarse también la presencia de los “nortes”, que son vientos producidos por las masas de aire frío que se desplazan en invierno desde Canadá y Estados Unidos hacia el sur.

En conclusión, la situación geográfica de México influye sobre los fenómenos meteorológicos que afectan la altura de la lluvia, siendo estos: los ciclones tropicales; los vientos alisios; los movimientos de masas de aire de tipo monzónico; el frente ecuatorial y las perturbaciones ciclónicas propias de las latitudes medias. Lo anterior determina la distribución de la precipitación pluvial en el territorio mexicano, misma que es muy irregular (**Mapa 1**).

En general, la precipitación aumenta en una dirección norte – sur debido a la influencia de la latitud, sin embargo el relieve produce un efecto muy importante en el resultado de ésta distribución.

Cabe mencionar que de los 400,000 Km<sup>3</sup>/año de lluvia mundial, a México le corresponde una precipitación pluvial de 400,000 m<sup>3</sup>/año (1% de la lluvia anual mundial). La altura media anual de la lluvia varía de menos de 50 mm a más de 4000 mm/año. La precipitación media máxima corresponde a la estación Covadonga con un valor de 5 331.5 mm, localizada en el sureste del estado de Chiapas y la mínima a tres estaciones ubicadas en el noreste del Estado de Baja California, Ampac, Bataques y Delta, con un valor de 30.5 mm.

La distribución de la precipitación pluvial, provoca que la disponibilidad del agua en la República mexicana no sea uniforme, dando origen a cuatro áreas específicas:

- Seca o muy seca 52.4 %
- Semiseca 30.3 %
- Semihumeda 10.5 %
- Muy humeda 6.8 %

Debido a la distribución de la precipitación pluvial, existen 320 cuencas que se agrupan en más de 20 regiones hidrológicas, de las cuales 4 son las que captan, canalizan y redistribuyen el 84.7 % el agua en el país (**Tabla 1**):

El volumen total promedio de agua, que en éstas regiones hidrológicas se distribuye, sin considerar eventos meteorológicos extraordinarios, es de 338,800 m<sup>3</sup>/año.

TABLA 1. Las cuatro Regiones Hidrológicas con mayor captación y distribución de agua correspondiente a la precipitación pluvial media anual.

REGIÓN HIDROLOGICA	ESTADOS	AGUA QUE DISTRIBUYE	
		%	M <sup>3</sup>
Papaloapan, Grijalva, Usumacinta	Veracruz, Oaxaca, Puebla, Tabasco, Chiapas y Campeche.	42.5	170,000
Pacífico Sur	Guerrero, Oaxaca y Chiapas.	25.0	100,000
Golfo de México	Tamaulipas, Nuevo León, Veracruz, Puebla, Tabasco y Oaxaca.	9.8	39,200
Yucatán	Yucatán, Campeche y Quintana Roo.	7.4 %	29,600

## ESCURRIMIENTOS.

Es la parte de la precipitación que aparece en las corrientes fluviales superficiales, perennes, intermitentes o efímeras y que regresa al mar o a los cuerpos de agua interiores. Dicho de otra manera, es el deslizamiento virgen del agua que no ha sido afectado por obras artificiales hechas por el hombre.

De acuerdo con las partes de la superficie terrestre en las que se realiza el escurrimiento, este se puede dividir en: superficial, subsuperficial y subterráneo.

- Escurrimiento superficial es la parte que viaja sobre el suelo y después por los cauces de los ríos.
- Escurrimiento subsuperficial o escorrentía es la parte del agua que se desliza a través de los horizontes superiores del suelo hacia las corrientes. Una parte de éste tipo de escurrimiento entra rápidamente a formar parte de las corrientes superficiales y a otra le toma bastante tiempo unirse a ellas.
- Escurrimiento Subterráneo es aquel que debido a una profunda percolación del agua infiltrada en el suelo, se lleva a cabo en los mantos subterráneos y posteriormente por lo general, descarga a las corrientes fluviales, en forma de manantial.

La precipitación es el elemento del clima más importante respecto al estudio del escurrimiento, pues directa o indirectamente la precipitación es de donde proviene el agua de escurrimiento. A la parte de precipitación que contribuye directamente al escurrimiento superficial se le llama precipitación en exceso.

El escurrimiento subterráneo y la parte retardada del escurrimiento superficial constituye el escurrimiento base de los ríos, es decir, aquel que proviene de los mantos de agua subterránea.

La parte de agua que entra rápidamente en el cauce de las corrientes es a lo que se llama escurrimiento directo y es igual a la suma del escurrimiento superficial más la parte del escurrimiento subsuperficial, que viaja rápidamente, más la precipitación que cae directamente sobre los cauces.

Los factores que afectan al escurrimiento se refieren a las características de las cuencas hidrográficas en las que se distribuyen los recursos hidrológicos superficiales y se dividen en dos grandes grupos: los factores climáticos y los factores relacionados con la fisiografía.

### **Factores climáticos:**

Son aquellos que determinan la cantidad de agua precipitada y consecuentemente la destinada al escurrimiento.

- **Tipo de precipitación.** Si la precipitación es en la forma líquida, el escurrimiento se presentará con relativa rapidez; si es en forma sólida no se sentirá ningún efecto, a menos que la temperatura permita el rápido deshielo o licuefacción.
- **Intensidad de la precipitación.** Cuando la intensidad de la precipitación ha sido suficiente para exceder la capacidad de infiltración al suelo, se presenta el escurrimiento superficial y cualquier aumento en la intensidad se deja sentir rápidamente en dicho escurrimiento.
- **Duración de la precipitación.** Este aspecto está en proporción directa con el escurrimiento, es decir, entre más dure la precipitación mayor será este, independientemente de la intensidad. Por otra parte, una lluvia prolongada puede causar gran escurrimiento superficial aún cuando no sea muy intensa, debido a que con la lluvia decrece la capacidad de infiltración, favoreciendo la escorrentía.
- **Distribución de la precipitación en el espacio.** Por lo general la lluvia nunca abarca toda la superficie de la cuenca. Se ha visto que para cuencas pequeñas los mayores escurrimientos superficiales resultan de tormentas que abarcan áreas pequeñas y para grandes cuencas, de aguaceros poco intensos que cubren una mayor superficie.
- **Dirección del movimiento de la precipitación.** Casi siempre el centro de la perturbación atmosférica que causa la precipitación está en movimiento. La dirección de este movimiento tiene influencia en la lámina y duración del escurrimiento superficial. Éste será mayor si la tormenta se mueve dentro del área de la cuenca que si únicamente la atraviesa. Por otra parte si el temporal avanza en sentido contrario al drenaje el escurrimiento será más uniforme y moderado que si se mueve en el sentido de la corriente.

- **Precipitación antecedente y humedad del suelo.** La humedad del suelo es de gran importancia para el escurrimiento. Cuando el suelo posee un alto contenido de humedad, la capacidad de infiltración es baja, lo cual facilita el escurrimiento. Cuando cae una precipitación de importancia y poco después otra corta, esta última puede llegar a producir inundaciones. En la época seca el valor de la humedad del suelo se reduce bastante debido a la evapotranspiración.

A pesar de que la precipitación es la parte más importante del clima en lo que al escurrimiento se refiere, existen otros elementos que se deben tomar en cuenta, tales como la temperatura, la cantidad anual de precipitación, el viento, la presión y la humedad relativa que, indirectamente también afectan al escurrimiento.

### **Factores fisiográficos.**

Los factores fisiográficos se relacionan por una parte con la forma y características físicas del terreno comprendido dentro de la cuenca, y por otra con los canales que forman el sistema fluvial de la misma.

- **Superficie.** La superficie de una cuenca es la extensión de terreno comprendida dentro de la divisoria topográfica o parteaguas que determina el área de la cual se deriva el escurrimiento superficial.
- **Forma.** La forma de la cuenca interviene, principalmente, en la manera como se presenta el volumen de agua escurrido en la salida de la cuenca.
- **Pendiente.** La pendiente del terreno es un factor importante relacionado con la infiltración, el escurrimiento superficial, la contribución del agua subterránea a la corriente y con la duración del escurrimiento.
- **Orientación.** La orientación de la pendiente general de la cuenca tiene importancia por el tipo de precipitación que tenga y los vientos predominantes e insolación que reciba.
- **Altitud.** La altitud influye principalmente en la temperatura y tipo de precipitación, ambos elementos, que intervienen en el escurrimiento, tanto en el volumen como en la época en que se presenta.
- **Uso y cubierta del terreno.** Este factor implica la intervención del hombre. Cuando el terreno es virgen y está cubierto por bosques, la naturaleza del suelo hace que la mayor parte del agua sea absorbida, lo cual contribuye a la estabilización de los regímenes de las corrientes. Cuando el terreno es deforestado para emplearlo en actividades agrícolas, el suelo adquiere una consistencia compacta y la lluvia cae rápidamente sobre la superficie. Por otra parte la construcción de una presa afecta el perfil de las capas freáticas, ya que el efecto producido en las aguas superficiales se extiende también en las aguas subterráneas.

- **Tipo de suelo.** Este factor interviene en cuanto a la capacidad de infiltración, sin embargo el uso de suelo afecta mucho esta propiedad.
- **Geología.** El escurrimiento está en gran parte condicionado a la permeabilidad o impermeabilidad de las estructuras que forman el terreno. Cuando el terreno es permeable y tiene gran capacidad para el almacenamiento del agua, el sistema fluvial, durante la época de estiaje, se encuentra bien abastecido por el escurrimiento subterráneo. Cuando el terreno es impermeable, el volumen de escurrimiento se concentra más pronto en el punto de desagüe y, en la época de estiaje, el nivel de la corriente disminuye considerablemente o bien desaparece.
- **Topografía.** Parte de este factor queda incluido dentro de la pendiente de la cuenca; sin embargo, son importantes otros elementos topográficos como las ondulaciones o relieve del terreno los límites superficiales de la cuenca hidrográfica. Con respecto a las ondulaciones, éstas pueden ser la causa de la presencia de depresiones o zonas en las que el agua se embalse contribuyendo a una mayor evapotranspiración, lo que disminuye la cantidad destinada al escurrimiento, En cuanto a la superficie que abarca la cuenca, se dijo ya al hablar del área de estas unidades hidrográficas que están limitadas por la topografía; sin embargo puede suceder que haya disparidad entre la divisoria topográfica y la freática, de manera que parte del escurrimiento subterráneo contribuya al escurrimiento de la cuenca vecina atravesando el límite topográfico.
- **Red de drenaje.** Incluye los aspectos que se refieren a las características de los canales que comprenden el sistema fluvial de la cuenca. Constituye un factor importante ya que refleja las condiciones del terreno sobre el que se desarrolla.
- **Densidad hidrográfica.** Es la relación de la cantidad de corrientes que existen en la cuenca entre la superficie total de ésta.
- **Densidad de drenaje.** Se obtiene al dividir la longitud total de las corrientes de agua, entre la superficie de la cuenca. Entre mayor sea este índice, más desarrollada estará la red de drenaje o avenamiento.

Estos factores que afectan el escurrimiento no actúan de manera individual, necesariamente se combinan unos con otros, o bien unos son resultado de otros.

## AVENIDAS.

La presencia de una tormenta o de una sucesión de tormentas en una cuenca de captación, ocasiona escurrimientos que dan lugar a un aumento más o menos rápido del gasto de la corriente, fenómeno al cual se le llama avenida o creciente.

Generalmente en la mayor parte de la República Mexicana, se presentan avenidas por lluvias de origen ciclónico, sin embargo en el noreste, se presentan lluvias invernales provocadas por el choque de masas de aire frío continental y masas de aire húmedo.

Con mucha frecuencia se hace necesario estimar la magnitud de avenidas con objeto de dar seguridad a las obras hidráulicas en proyecto y proteger las poblaciones ribereñas ubicadas a lo largo de la corriente. La magnitud de la avenida, o sea el gasto máximo y el volumen de la misma, depende de muchos factores, siendo los principales los siguientes:

- La intensidad y duración de las tormentas.
- Localización y amplitud de las tormentas en la cuenca de captación, sobre todo en las cuencas de gran magnitud.
- Trayectoria de las tormentas.
- Area y forma de la cuenca de captación.
- La topografía de la cuenca, la pendiente de ella y de las corrientes principales.
- Las características geológicas del terreno.
- La permeabilidad de los suelos.
- La vegetación existente (cubierta vegetal).
- El estado de saturación existente al ocurrir la tormenta.

Es común definir la magnitud de las avenidas por los niveles que alcanza el agua o por el volumen de agua escurrido en un lapso de tiempo, sin embargo para el estudio de la creciente, es conveniente expresarla en de acuerdo con la duración del lapso considerando la siguiente clasificación:

- **Avenida máxima instantánea.** Es el Máximo gasto que se presenta durante una avenida, por lo tanto pueden presentarse varias en año.

- **Avenida máxima anual instantánea.** Considerando como lapso de estudio el año, en éste periodo se pueden presentar varias avenidas y al mayor valor del gasto instantáneo que se presente se le considera como máximo anual instantáneo.
- **Avenida máxima instantánea media anual.** Durante un lapso de varios años se presentan diversas avenidas correspondiendo a cada año una avenida máxima anual instantánea, que por medio de ellas se considera avenida máxima instantánea media anual.
- **Avenida máxima diaria y máxima de 24 horas.** La avenida máxima diaria instantánea es la mayor en un día cualquiera y difiere de la máxima de 24 horas, en que en ésta se selecciona un periodo de 24 horas y no precisamente a partir de las 0:00 hs. Por lo tanto el gasto será siempre mayor que la avenida máxima en un día.
- **Avenida máxima anual diaria y de 24 horas.** Es la mayor avenida máxima diaria y máxima en 24 hs, que se presenta durante un año.
- **Avenida máxima anual media de un día.** Es la avenida media de todas las máximas anuales de un año, para el periodo de años considerado. La magnitud de ésta avenida es la que se emplea como base para la estimación de otras avenidas y simplemente se le llama avenida media.
- **Avenida con 10% de probabilidades.** Es aquella avenida cuya magnitud será sobrepasada una vez en 10 años o 10 veces en 100 años, es decir que probabilidades en el número de años que comprende el periodo de las avenidas, con cualquier probabilidad no implica que se presente a intervalos regulares, se pueden presentar en grupos o sea presentarse varios de ellos consecutivamente y luego pasar un largo periodo sin que ocurran.

## **HIDROLOGIA.**

La rama de la Geofísica, denominada Hidrología, estudia todos los fenómenos de vaciado y renovación de los recursos de agua del globo terráqueo, teniendo en cuenta el control y utilización de los mismos.

A través del tiempo, se han sugerido diferentes divisiones de ésta ciencia, entre las que tenemos la siguiente:

- **Potamología.**

Estudia los cursos de agua.

- **Limnología.**

Estudia los lagos y los pantanos.

- **Criología.**

Estudia la nieve y las heladas.

- **Geohidrología.**

Estudia las aguas superficiales y subterráneas.

- **Hidrometeorología.**

Estudia los problemas meteorológicos e hidrológicos vinculados con la precipitación.

No obstante las diferentes divisiones que se han dado a esta ciencia, los principales autores de la Hidrología moderna no adoptan únicamente esas divisiones como base para separar el material presentado en sus libros.

La importancia de la hidrología radica en que mediante un sistema de criterios y métodos, se encarga de:

- La medición, registro y divulgación de datos básicos.

- El desarrollo de métodos adecuados y precisos para la obtención de esos datos.
- El análisis riguroso y la interpretación científica de los datos, para determinar, comprender y aplicar los principios y leyes naturales que rigen la circulación, distribución y acción del agua en el ciclo hidrológico.
- La aplicación de los preceptos y datos en la valoración, control, utilización y conservación de los recursos de agua.

No obstante lo anterior, la importancia de la Hidrología y su aplicación rebasan el interés puramente científico y trasciende a las áreas de:

- Desarrollo urbano y tecnológico.
- Ecología y agricultura.
- Protección Civil.
- Socio - política.
- Economía

Lo anterior se debe a que desde la antigüedad las distintas los grupos y/o civilizaciones humanas se asentaron en sitios cercanos a fuentes de agua, como ríos, lagos, lagunas y manantiales, desarrollando poblaciones y ciudades, donde radicar y realizar diferentes actividades productivas.

Esto generó alteraciones ecológicas, que al paso del tiempo se han vuelto complejas, graves e irreversibles, debido a la explosión demográfica, a las actividades humanas y a una fuerte demanda de servicios rurales y urbanos, lo que al mismo tiempo ha causado la reacción de la sociedad y la intervención de los políticos, científicos y técnicos, así como una gran demanda de disponibilidad económica y de desarrollo científico y tecnológico.

En materia de Hidrología, éste fenómeno social es más marcado en las zonas urbanas y sobre todo en los países en vías de desarrollo, donde la responsabilidad recae principalmente en los políticos, científicos y técnicos.

En los primeros porque ellos están obligados a desarrollar estrategias de satisfacción a las necesidades y prevenir catástrofes, los segundos porque son quienes deben realizar investigación metodológica y proveer de conocimientos y tecnología a la humanidad para su desarrollo y supervivencia.

El papel de los terceros es desarrollar infraestructura (bajo los métodos adecuados y con el uso de materiales), que garanticen: la satisfacción de necesidades, la seguridad de los usuarios, el desarrollo rural y urbano con calidad, así como la protección y la supervivencia humana.

En este contexto, se hace necesario acuñar el término de "Hidrología Urbana", como una rama de la Hidrología tradicional, misma que estudia el movimiento natural del agua en el ciclo hidrológico.

## **HIDROLOGIA URBANA.**

De esta forma, la "Hidrología Urbana" adquiere una importancia relevante, ya que debe encargarse del manejo de los cauces y cuerpos de agua naturales y artificiales de las poblaciones y ciudades, dado que las alteraciones que los polos urbanos han causado al Ciclo Hidrológico, son principalmente por causas artificiales que se presentan en verdaderos complejos hidráulicos difíciles de operar y controlar, siendo dichas causas:

- **Aprovechamiento del agua.**

- Aprovechamiento aguas superficiales.

- Aprovechamiento de aguas subterráneas.

- Contaminación, Eutroficación y azolve de cuerpos de agua.

- **Alteración y aprovechamiento del subsuelo.**

- Explotación de mantos acuíferos.

- Drenaje de suelos por realización de obras.

- Obras subterráneas.

- Fracturas de redes de agua potable y de alcantarillado.

- Perforación y dinamitado de estratos poco permeables del suelo y subsuelo.

- **Afectación de los sitios de recarga de los acuíferos.**

- Descarga de agua al suelo y riego con agua residual.

- Pavimentación de medianas y grandes superficies.

Edificación en medianas y grandes superficies.

Eliminación de vegetación y deforestación.

Deseccación de cuerpos de agua.

- **Modificación y aprovechamiento de los cuerpos de agua.**

Intersección y desviación de causes y escurrimientos.

Captación y almacenamiento de grandes volúmenes de agua.

Importación y exportación de agua, de otras demarcaciones municipales o estatales.

Relleno de causes intermitentes naturales y de barrancas.

Asentamientos irregulares.

Descarga de aguas residuales a cuerpos receptores.

- **Impacto ambiental.**

Modificación de microclimas.

De acuerdo a lo anterior, la "Hidrología Urbana" debe tomar en cuenta los sistemas hidráulicos y las obras civiles de las zonas urbanas, para prevenir sequías y en caso de avenidas, prever desbordamientos de cuerpos de agua naturales y artificiales, así como inundaciones.

Es importante tener en cuenta que respecto a las avenidas, los ríos presentan tres zonas principales:

- La ocupada por el lecho del río, también conocida como cajón y que generalmente tiene agua o está húmeda.
- La zona media, generalmente seca, pero periódicamente afectada por las avenidas.
- La zona alta, fuera del alcance de las aguas, aún en avenidas máximas.

El hecho de que la zona media de un río sea afectada por avenidas, ocasiona que sea ocupada por centros de población, llegando a invadir hasta los límites del lecho del río, esta invasión va estrechando la sección transversal para el paso de las avenidas, por lo que al ocurrir una creciente se ve afectada la población ahí asentada, así como las obras y edificaciones existentes.

En México, es común encontrar ríos que se desbordan durante eventos como avenidas ordinarias y extraordinarias, asimismo la existencia de asentamientos humanos irregulares en terrenos bajos, o bien en la ribera de causes, estos sitios enfrentan severos problemas como:

- **Sequía.**

Racionalización y/o suspensión de abasto intradomiciliario de agua.

Proliferación de enfermedades gastrointestinales y de la piel.

Aumento de los índices de mortalidad y de morbilidad.

Pérdida de horas hombre.

Pérdida de producto agrícola.

Muerte masiva de ganado.

Restricción en la producción industrial.

Fuertes pérdidas económicas

Efectos ambientales adversos.

- **Inundaciones moderadas.**

Insuficiencia del sistema de alcantarillado.

Encharcamientos y afectación regular de caminos, calles, avenidas, carreteras y puentes.

Posible contaminación del agua potable.

Eventual diseminación de enfermedades gastrointestinales y de la piel.

Proliferación de mosquito y posible brote de paludismo o dengue.

Incremento del congestionamiento vial.

Algunos accidentes viales.

Aumento de los índices de mortalidad

Alteración frecuente del servicio de suministro de energía eléctrica.

Ocasionalmente deficiencias de los servicios y sistemas de comunicación.

Pérdida de horas hombre.

Pérdidas económicas

- **Fuertes inundaciones por avenidas y desbordamiento de cuerpos de agua.**

Insuficiencia del sistema de alcantarillado.

Desbordamiento de cuerpos de agua.

Reingreso de cauces por su ruta natural.

Deslave y derrumbe de cerros y minas.

Fuertes inundaciones y afectación severa de caminos, calles, avenidas, carreteras y puentes.

Derrumbe de viviendas y arrastre, postes, árboles, vehículos, personas y ganado, entre otros.

Contaminación de las fuentes de agua de uso y consumo humano.

Inclemente diseminación de enfermedades gastrointestinales y de la piel.

Proliferación sin control de mosquito y brote de paludismo y/o dengue.

Incremento del congestionamiento vial y cierre de caminos, avenidas, calles y carreteras.

Suspensión prolongada del servicio de transporte terrestre.

Fuertes accidentes viales.

Aumento drástico de los índices de mortalidad y morbilidad.

Desaparición de seres humanos (cadáveres no identificados y personas no localizadas).

Suspensión prolongada del servicio de suministro de energía eléctrica.

Fallas y suspensión de los servicios y sistemas de comunicación.

Desarrollo de plagas agrícolas.

Grave pérdida de producto agrícola.

Muerte masiva de ganado.

Violenta baja del producto pesquero.

Desmedida pérdida de bienes muebles, inmuebles y materiales.

Restricción en la producción industrial y las actividades productivas y comerciales.

Gran baja del turismo local.

Pérdida incalculable de horas hombre.

Fuertes pérdidas económicas.

Efectos ambientales adversos.

Por tales motivos, la "Hidrología Urbana", resulta una herramienta imprescindible en la prevención de catástrofes en los pequeños y grandes centros de población humana, asimismo de protección y conservación ecológica y ambiental.