



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESTRATEGIA DE MEJORAMIENTO DE LA  
INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA DEL  
DISTRITO FEDERAL**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :  
INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A :  
JUAN MANUEL COLÍN QUINTERO**



**DIRECTOR DE TESIS: ING. JORGE LUIS GRAJALES ESCARPULLI**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, D. F.**

**2003**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/008/01

Señor  
**JUAN MANUEL COLIN QUINTERO**  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. JORGE LUIS GRAJALES ESCARPULLI**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

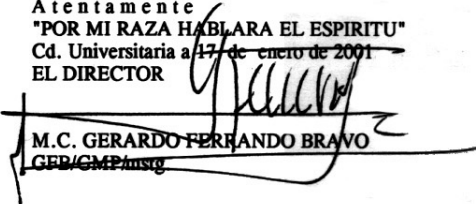
**"ESTRATEGIA DE MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA  
DEL DISTRITO FEDERAL"**

- INTRODUCCION**
- I. PROBLEMÁTICA EN EL SUMINISTRO DE LOS SERVICIOS DE AGUA A TRAVES DE LA HISTORIA DE LA CIUDAD DE MEXICO**
  - II. CATASTRO DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA**
  - III. DETECCION Y ELIMINACION DE PERDIDAS DE AGUA POTABLE**
  - III. REHABILITACION DE REDES DE AGUA POTABLE**
  - IV. CONCLUSIONES**

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

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

Atentamente  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
Cd. Universitaria a 17 de enero de 2001  
EL DIRECTOR

  
**M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO**  
GER/GMP/mstg

# DEDICATORIA

A MI HIJA

**AMBAR ANAHÍ COLÍN KING**

A MI ESPOSA

**ROSALINDA LETICIA KING NAVARRETE**

A MI MADRE

**PAULA QUINTERO REBOLLO**

A MIS HERMANAS

**MARÍA DEL CARMEN Y MÓNICA**

A LOS AMIGOS DE TODA LA VIDA

**MARTÍN, LUIS, FEDERICO, GUILLERMO, VERÓNICA Y  
FERNANDO**

A TODOS GRACIAS

**JUAN MANUEL COLÍN QUINTERO**

## **AGRADECIMIENTOS**

- A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
- A LA FACULTAD DE INGENIERÍA
- A TODOS LOS PROFESORES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
- A LA DIRECCIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN HIDRÁULICA Y LA COMISIÓN DE AGUAS DEL DISTRITO FEDERAL, QUE HAN SIDO COMO UNA EXTENSIÓN DE LA UNIVERSIDAD.
- A TODOS LOS INGENIEROS CON QUIENES CONVIVO DÍA A DÍA, HAY MUCHO POR HACER

## ÍNDICE

	<b>página</b>
<b>Introducción</b>	4
<b>Capítulo Primero. Problemática en el suministro de los servicios de agua a través de la historia de la Ciudad de México</b>	
1.1 Reseña histórica	9
<b>Capítulo Segundo. Catastro de la infraestructura hidráulica</b>	
2.1 Antecedentes	22
2.2 Objetivos del estudio	22
2.3 Metodología de actividades	23
2.4 Problemática prevaleciente en la ejecución del catastro en la ciudad de México	31
2.5 Consideraciones importantes en la ejecución del catastro	32
<b>Capítulo Tercero. Detección y eliminación de pérdidas de agua potable</b>	
3.1 Definiciones	39
3.2 Problemas de recuperación de pérdidas	43
3.3 Técnicas de detección de fugas	53

<b>Capítulo Cuarto. Rehabilitación de redes de agua potable</b>		
4.1	Problemática actual	70
4.2	Reparación de fugas en tomas domiciliarias	72
4.3	Rehabilitación de la red secundaria	76
4.4	Tecnología y metodología factible de aplicar en el reemplazo de tuberías de agua potable	81
4.5	Breve descripción de las actividades a desarrollar en la planeación de los trabajos de rehabilitación o sustitución de tuberías	92
4.6	Nuevas tecnologías en instalaciones subterráneas y sus Implicaciones en el ámbito de los servicios públicos	95
<b>Capítulo Quinto. Conclusiones y recomendaciones</b>		100
5.1	Logros alcanzados con la ejecución de este proyecto	103
5.2	Importancia del proyecto como esquema a seguir en varias ciudades del interior del país	108
5.3	Conclusión final	109
<b>Bibliografía</b>		115

## **INTRODUCCIÓN**

En la ciudad de México, considerada una de las más pobladas del mundo, el suministro de los servicios de agua potable, drenaje y tratamiento de aguas residuales, desempeña un papel fundamental para su desarrollo.

Cada día es más difícil lograr un suministro confiable y eficiente de estos servicios, como consecuencia de diversos factores, dentro de los que destacan por su importancia: el incesante crecimiento de la mancha urbana, el incremento en la complejidad de la operación del sistema hidráulico, la existencia de hundimientos regionales y diferenciales del subsuelo, lo que afecta el funcionamiento de la infraestructura, el hecho de que algunos componentes del sistema hidráulico sean antiguos y su vida útil haya sido rebasada, y finalmente, el intenso ritmo de trabajo a que tiene que ser sometido el sistema.

La Ciudad se caracteriza por un lado, por la escasez de fuentes de abastecimiento de agua potable y por otro, por la abundancia de agua provocada por las lluvias torrenciales de corta duración que no permiten aprovechar los escurrimientos superficiales, siendo necesario su desalojo del valle para evitar inundaciones.

El suministro de agua a la Ciudad, se logra mediante el aprovechamiento de fuentes internas y externas. Los pozos que sobreexplotan el acuífero

---

---

subyacente a la Ciudad, han ocasionado el establecimiento, desde hace años, de una veda rígida, es decir, ya no es posible incrementar mayores caudales por haber llegado éstos a su límite.

Desde la década de los cuarenta, se inicia la explotación de fuentes externas al Valle, para satisfacer las necesidades hídricas de la Ciudad y de su Área Metropolitana. La última de estas fuentes aprovechadas, incorporó nuevos caudales a la Ciudad y su área metropolitana durante enero de 1995. Desde entonces, a pesar del aumento sostenido de la demanda, no ha sido posible el aprovechamiento de nuevas fuentes externas.

En virtud de lo anterior y para garantizar el futuro de la Ciudad es necesario un cambio radical en la cultura del agua. Ésta deberá fundamentarse en el uso adecuado del vital líquido por parte de la población y la eficiencia operativa del personal responsable del suministro.

Si bien es cierto que en cualquier sistema de agua potable, una parte del volumen que se conduce en las redes no es aprovechado como consecuencia de la existencia de fugas, en el de la ciudad de México, éstas cobran especial relevancia debido a la escasez del agua y la problemática prevaleciente en el suministro.

El uso eficiente del agua y en particular su conservación es un precepto que cobra, con el paso del tiempo, mayor legitimidad ya que sus efectos son de interés público, pues no sólo promueve el aprovechamiento racional del agua, sino que permite a los gobiernos federal, estatal y municipal diferir

---

---



inversiones asociadas con la captación y conducción de agua en bloque, además de la reducción de costos de operación y mantenimiento en el suministro.

La Conservación del agua se alcanza mediante dos acciones: la optimación de su distribución y la reducción de su consumo. La primera se logra mediante la eliminación sistemática de fugas en las redes de distribución y tomas domiciliarias, la medición intradomiciliaria para evitar su desperdicio y la regulación de las tomas clandestinas; la segunda acción tiene que ver con los dispositivos que se utilicen dentro de las instalaciones previendo que no se afecte el bienestar del usuario.

Con el fin de coadyuvar en el suministro de estos servicios, a mediados de 1994, da inicio el proyecto denominado “Una nueva estrategia de agua para el Distrito Federal” con la función de prestar los servicios públicos de agua potable, agua residual tratada y drenaje a los usuarios domésticos, industriales, comerciales y de servicios. Con la responsabilidad de la administración, operación y preservación de la infraestructura necesaria para la provisión de estos servicios.

El presente documento tiene la finalidad de describir una serie de acciones encaminadas a mejorar el suministro de agua potable, agua residual tratada y drenaje a los habitantes de la Ciudad de México, así como los logros alcanzados durante diez años de participación activa en la coordinación de este proyecto.

Como parte de las primeras acciones y con el fin de tener un conocimiento preciso de la infraestructura existente; es necesario llevar a cabo la actualización en campo del catastro de las redes de agua potable, drenaje y agua residual tratada. El objetivo fundamental de realizar el catastro de la red hidráulica es dejar evidencia escrita y gráfica de su estado y características físicas de operación, con información clara, confiable y bien organizada.

El sistema hidráulico de la ciudad de México, constituido fundamentalmente por las redes de agua potable, drenaje y agua residual tratada, es quizá uno de los más extensos y dinámicos del mundo, por lo cual resulta difícil tener un registro exacto de sus diversos componentes.

El agua captada, bombeada, potabilizada, almacenada y distribuida que se pierde debido a fallas en el sistema de distribución en el instante en que está lista para ser consumida, genera problemas económicos y sociales tanto a la población como a la Administración Pública. Gran parte de los componentes del sistema se encuentran bajo tierra; en algunas ocasiones es posible ubicar las fugas porque el agua aflora, pero cuando no existen señales externas, las fugas pasan desapercibidas. Esto impide cuantificar la cantidad de agua que se pierde por este concepto. Todo ello ocasiona en gran medida que se presenten deficiencias durante el suministro de agua potable.

El siguiente paso dentro del proyecto consiste en la puesta en marcha del programa de detección y supresión de fugas, encaminado a disminuir el agua que se pierde en las redes, el cual permite la recuperación de caudales adicionales. El costo de recuperación de esta agua es menor, comparado con el costo que representa traer el agua de una nueva fuente, puesto que ya se

---

---

encuentra en las redes y por lo tanto no es necesario traerla de fuentes externas, con la consiguiente reducción de costos para la ciudad.

El empleo de tecnología de vanguardia, así como de materiales de primer nivel, permite lograr un excelente nivel de desempeño, tanto en el nivel de construcción y trabajos de campo como en el de atención a los usuarios, objetivo primordial, en la consecución de este proyecto.

## CAPÍTULO PRIMERO

### PROBLEMÁTICA EN EL SUMINISTRO DE LOS SERVICIOS DE AGUA A TRAVÉS DE LA HISTORIA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

#### 1.1 Reseña histórica

Hace más de 7 siglos, aproximadamente en 1267, los aztecas llegaron a la Cuenca del Valle de México, estableciéndose en la zona lacustre. Obedeciendo una profecía de su deidad, lograron encontrar y hacerse del sitio predestinado: un islote de poca extensión que apenas rebasaba el nivel del lago. Este fue el origen de la Gran Tenochtitlan, cuya fantástica presencia siglos más tarde, causaría la admiración de los conquistadores españoles.

Al igual que en nuestros días conforme aumentó la población, el abasto de agua se tuvo que realizar de manantiales cada vez más lejanos, mediante acarreos problemáticos desde tierra firme en chalupas o canoas, sistema que continuó hasta la época Virreinal. El Emperador Moctezuma Ilhuicamina mandó construir un acueducto, encargando para ello al señor de Texcoco, Netzahualcóyotl, eminente ingeniero y humanista; dicha vía funcionó a partir de 1466 para conducir agua desde Chapultepec hasta el Templo Mayor.

Pero si este acueducto fue motivo de asombro, su obra cumbre, colosal en su tiempo, construida para librar a la Ciudad de la amenaza de inundaciones y ahora conocida como el Albarradón de Netzahualcóyotl, fue un dique de 16 kilómetros equipado con compuertas para regular los niveles de dos lagos, formados gracias a esta obra; el de México, de agua dulce y el de Texcoco,

de agua salobre; así como para permitir el paso de las embarcaciones que comerciaban con los pueblos ribereños.

A la caída de la Gran Tenochtitlan el 13 de agosto de 1521, sólo quedaban ruinas y sobre ellas se erigió una nueva Ciudad; con el afán de engrandecerla, continúa la lucha del hombre contra el agua, así como por el agua para su abastecimiento.

Parte del agua que llegaba por los acueductos para el servicio doméstico, muchos de ellos reconstruidos según su trazo original, se canalizaba por ductos subterráneos hacia las casas principales, algunos conventos y edificios públicos. La mayor parte de los habitantes que carecían de dicho sistema se proveían de los aguadores, quienes transportaban el líquido en depósitos o tinajas de barro, por medio de sus trajineras a lo largo de las acequias.

Hacia 1600 se veía la imperiosa necesidad de establecer salidas definitivas para los excedentes del agua pluvial que ocasionaban inundaciones y para el agua ya servida; el Virrey Luis de Velasco en 1607 aceptó el proyecto de Enrico Martínez quien propuso se hiciera el desagüe en un sitio denominado Nochistongo localizado al norte de la cuenca para desviar los escurrimientos del río Cuautitlán.

Los trabajos los inauguró el mismo Virrey el 29 de noviembre de 1607 y el 17 de septiembre de 1608 el agua cruzó las obras desde el Lago de Zumpango a través de un socavón o túnel de 6,411 m de longitud, 3.5 m. de ancho y 4.2 de altura y un tajo de 6,921 m hasta el salto del Río Tula. En su época fue

---

---

una obra hidráulica que admiró a todos y por mucho tiempo se consideró portentosa. Sin embargo, por la falta de revestimiento, la corriente del agua minó el socavón y se presentaron derrumbes, la falta de mantenimiento y continuidad de los trabajos por el cambio de Virrey, hicieron que en 1623 las aguas se desviarán a su estado original.

1629 fue uno de los años más terribles de la época virreinal, durante el cual las lluvias cubrieron la Ciudad y surgió la peste. El Virrey ordenó reconstruir el desagüe, bajo el sistema de tajo abierto, el que empezó a construirse el 20 de agosto de 1637; sin embargo, pese al entusiasmo la construcción se retrasó entre accidentes, falta de personal, limitaciones de erario y oposición de los causantes al impuesto para financiar la obra.

Durante los primeros años de vida del México independiente, la seguridad contra las inundaciones se apoyaba en las obras del tajo de Nochistongo que desaguaban al Río Cuautitlán y los de Zumpango y San Cristóbal, así como en las calzadas y diques que entre otras funciones, protegían a la urbe de los derrames de los lagos de Texcoco, Xochimilco y Chalco. Sin embargo, una serie de lluvias extraordinarias hizo ver la necesidad de llevar a cabo la obra concebida por Enrico Martínez para desaguar el lago de Texcoco.

Con motivo de la invasión estadounidense, en 1847, se intentó inundar el oriente de la Ciudad para detener a los norteamericanos, lo que sólo produjo un deterioro adicional de las obras. Una vez establecidos los invasores en la Ciudad de México, se trató de dar una solución al desagüe total de la cuenca; sin que se emprendiera acción nueva alguna.

Una respuesta de evacuación se aplicó en 1856 con la construcción del Canal de Garay y una compuerta en Mexicaltingo para manejar los volúmenes de agua hacia el canal de la Viga. Así permanecieron las cosas hasta el Segundo Imperio. En este período se levantó una carta hidrográfica y, con motivo de las inundaciones de 1865, Francisco de Garay presentó un proyecto que consistía en desaguar por Tequixquiac con un gran canal y un túnel para abrir la cuenca en un nuevo sitio. El proyecto se aceptó, y se iniciaron los trabajos en varios frentes: el canal del lago de Texcoco, las lumbreras del túnel y sus tajos de entrada y salida. Los trabajos fueron suspendidos en 1867, por la caída del Imperio, por lo que la situación de evacuación de aguas citadinas se hizo cada vez más crítica. Tiempo después se reanudaron las obras y en 1900 se inauguró el Gran Canal del Desagüe y el primer túnel de Tequixquiac que constituyó la segunda salida artificial del Valle de México.

Respecto al abasto de agua, su volumen presentó una merma progresiva debido en gran parte al deterioro de los acueductos; inclusive, durante las primeras décadas de la Independencia se atendió su reparación, se impusieron multas y se aumentó la vigilancia para evitar daños a las obras o robo del agua. Más tarde, 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 Mariscala 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 aumentó el abasto hidráulico, pues el problema estaba en que el volumen era cada vez más insuficiente; al respecto, ante la escasez que se presentó en 1878 hubo necesidad de recurrir al aprovechamiento de los manantiales del Desierto de los Leones.

Además, la salida de la cuenca por el tajo de Nochistongo empezó a alterar la ecología del valle e inició un nuevo proceso. El nivel de los lagos ya no crecía; por el contrario, los diques crearon áreas seguras, propias para que la ciudad se extendiese por las planicies lacustres; sin embargo, estas zonas resintieron cuantiosos daños al ser afectadas por inundaciones cuando los ríos que atravesaban la ciudad se salían de su cauce y ocupaban las áreas bajas.

La construcción del Gran Canal y del primer Túnel de Tequixquiac propició nuevos asentamientos humanos con lo que crecieron las necesidades de abastecimiento de agua.

Probablemente el hundimiento de la ciudad empezó a partir de 1847, año en que se inició la perforación de pozos someros según se constató por las nivelaciones realizadas de 1891 a 1895, las cuales registraron un descenso de 5 cm por año. Además, la presión en el acuífero disminuyó a causa de la extracción y, en consecuencia, también se redujo el caudal de los manantiales de Chapultepec.



Para 1900 la entrada de agua a la capital era de 480 l/s en promedio; la ley de agua exigía una toma de 1.15 l/min para cada finca, y contaba con una red de tuberías de 104,235 m de diversos diámetros; sin embargo, los temblores del 19 de enero y del 16 de mayo empeoraron la situación, pues desarticularon las tuberías provenientes de Chapultepec, ante lo cual se restringieron las tomas de agua para usos industriales; por otra parte, el nivel de agua del acuífero también tendía a bajar.

En 1901 la ciudad contaba con 107,575 m de tuberías de diversos diámetros para 6,532 casas, un caudal de 570 l/s y 1,132 pozos artesianos; el agua del manantial de Chapultepec se elevaba con bombas a los estanques en la zona de Dolores, desde los cuales se distribuía al resto de la urbe.

La extracción de los pozos debió incrementarse poco hasta 1936, a juzgar por la evolución de los hundimientos, los cuales se mantuvieron en alrededor de 5 cm por año, gracias en parte a que en 1913 se terminó el acueducto que captaba las aguas de los manantiales de Xochimilco, con un caudal de 2.6 m<sup>3</sup>/s. De 1936 a 1944 se advierte una deficiencia en las fuentes de agua para satisfacer la demanda de una población que crecía rápidamente, y en ese lapso el gobierno de la ciudad inició la perforación de los primeros 93 pozos profundos; lo anterior ocasionó que el hundimiento en el centro de la Ciudad se incrementará a 18 cm por año entre 1938 y 1948.

Dado que el abasto de agua resultaba insuficiente se proyectó en 1937 recurrir al acuífero del Valle de Lerma en el Valle de Toluca, cuya altura permitía que por gravedad se abasteciera a todas las regiones del Distrito

Federal. El déficit en el abastecimiento de agua a la Ciudad, hizo que en 1942 se iniciaran las obras, las cuales se retrasaron hasta 1951.

Hacia 1954 se suspendieron los permisos para perforar pozos particulares. No obstante, en 1955 hubo necesidad de perforar unos 10 pozos municipales adicionales y, a pesar de que en 1957 se inauguró el acueducto de los pozos del Peñón, con un caudal  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ , entre 1960 y 1967 se perforaron alrededor de otros 50 pozos municipales, esta vez alejados del centro de la ciudad, gracias a lo cual los hundimientos en el centro se redujeron notablemente.

Ante el aumento en la demanda de agua y de las inversiones requeridas para satisfacerla, se vio la conveniencia de tratar las aguas residuales para evitar el empleo de agua potable en los usos que no requieren de esa calidad. En 1956 se comenzó a operar la primera planta de tratamiento de aguas residuales, ubicada en el Bosque de Chapultepec; las aguas residuales tratadas se emplearon en ese entonces y se siguen empleando en el riego de áreas verdes y el llenado de lagos recreativos.

A pesar de todas las acciones tomadas, la demanda de la Ciudad no quedaba satisfecha. Los manantiales de Xochimilco debieron bombearse hasta agotarlos, y en 1964 hubo que perforar en esa zona baterías de pozos para suplir el caudal de los manantiales; en 1977 entró a la red de abastecimiento el caudal de los pozos perforados por la Comisión de Aguas del Valle de México en el sur de la Ciudad (a lo largo del Anillo Periférico y en Tláhuac-Netzahualcóyotl) y al norte del valle (en la zona Los Reyes-Teoloyucan), los cuales aportaron al área metropolitana de la ciudad de México  $3.0 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $6.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , respectivamente.

---

---

En relación con el desalojo de las aguas residuales y pluviales, a principios de siglo el Ingeniero Roberto Gayol construyó una red de alcantarillado formada por colectores que escurren principalmente de poniente a oriente, siguiendo de manera aproximada la pendiente natural del terreno. Estos conductos, que constituyeron una importante obra de saneamiento para atender a medio millón de habitantes, descargaban sus aguas por gravedad al Gran Canal; pero una de las consecuencias del crecimiento demográfico y la expansión urbana, fue que el sistema de drenaje se volviera insuficiente para una población que se había duplicado en diez años y que en 1940 era de casi dos millones de habitantes; en esa década hubo varias inundaciones graves en las partes bajas de la Ciudad.

Por otra parte, el asentamiento del subsuelo ocasionado por la sobreexplotación de los acuíferos, deterioró el drenaje y disminuyó su capacidad para desalojar las aguas del valle de México, lo que motivó la ampliación del Gran Canal y la construcción del segundo túnel de Tequisquiác de 4 m de diámetro, el cual entró en operación en 1954.

En el centro del Distrito Federal los hundimientos hicieron que el drenaje, proyectado para trabajar por gravedad, requiriera de bombeo para elevar las aguas hasta el nivel del Gran Canal. De 1952 a 1966 se instalaron 29 plantas de bombeo en diversas zonas de la ciudad, lo que implicó un notable incremento en los costos de operación y mantenimiento. También se completó la red de colectores y se entubaron total o parcialmente los ríos Churubusco, Mixcoac, La Piedad y Consulado, que conducían aguas residuales a cielo abierto en condiciones insalubres.

De 1960 a 1961 se construyeron el Interceptor y Emisor del Poniente con el objeto de recibir y desalojar las aguas del poniente de la cuenca, situadas a elevaciones superiores a los 2,260 metros sobre el nivel del mar; el emisor mencionado descarga sus aguas a través del tajo de Nochistongo.

El Gran Canal, que a principios del siglo tenía una pendiente de 19 cm/km en la actualidad es prácticamente horizontal y en algunos tramos observa contrapendiente. En 1910, el nivel del lago de Texcoco, que regulaba las aguas del Gran Canal, se encontraba a 1.90 m por debajo del Centro de la Ciudad; en 1979, el hundimiento había sido tal que el lago de Texcoco ya se encontraba a 5.50 m por encima del Centro de la Ciudad. El desmesurado crecimiento urbano del D.F. demandaba más superficie para extenderse; esto, aunado a los problemas del hundimiento, volvió insuficientes las capacidades de drenaje del Gran Canal y del Emisor del Poniente.

Por ello, se hizo necesario construir la primera etapa del Drenaje Profundo, terminada en 1975, durante la cual se instalaron conductos a profundidades tales que no son afectados por los asentamientos del terreno; además no requieren de bombeo, ya que con su solo desnivel transportan el agua en época de lluvias y la expulsan por la cuarta salida del valle de México construida por el hombre.

La primera etapa del sistema de Drenaje Profundo consistió en la construcción de las siguientes estructuras:

<b>OBRA</b>	<b>LONGITUD (km)</b>	<b>DIÁMETRO (m)</b>	<b>CAPACIDAD (m<sup>3</sup>/s)</b>
Emisor Central	50	6.5	220
Interceptor Central	16	5.0	90
Interceptor Oriente	15	5.0	85

La década de los '80, se caracteriza por el inicio de transferencias de agua al valle de México desde cuencas lejanas, como la que se efectúa mediante la primera y segunda etapas del proyecto Cutzamala que en conjunto aportaban 11 m<sup>3</sup>/s.

En esta misma década se inicia la construcción de la segunda etapa del Sistema de Drenaje Profundo que incluyó la construcción de las siguientes estructuras:

<b>OBRA</b>	<b>LONGITUD (km)</b>	<b>DIÁMETRO (m)</b>	<b>CAPACIDAD (m<sup>3</sup>/s)</b>
Interceptor Centro-Poniente	16.2	4.0	40
Interceptor Centro-Centro	3.7	5.0	90
Colector Semiprofundo Obrero Mundial	0.7	3.1	20
Colector Semiprofundo Iztapalapa	5.3	3.1	20
Planta de Bombeo Central de Abasto II	-	-	20
Planta de Bombeo Churubusco-Lago	-	-	30

A partir de 1990, se continúan con las obras de la tercera etapa del Sistema Cutzamala el cual en conjunto con las dos etapas anteriores aportaría 19 m<sup>3</sup>/s a la Ciudad.

En lo que se refiere al drenaje se continúa con la construcción del drenaje profundo y estructuras complementarias tales como colectores primarios, plantas de bombeo, captaciones y lagunas de regulación. Entre otras, se destacan las siguientes obras:

<b>OBRA</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>CAPACIDAD (m<sup>3</sup>/s)</b>
Prolongación del Interceptor Oriente	5.0 m de diámetro	70
Interceptor Oriente - Sur	5.0 m de diámetro	60
Colector Semiprofundo Canal Nacional - Canal de Chalco	3.1 m de diámetro, 6 km de longitud hasta Canal de Chalco	20
Planta de Bombeo Canal Nacional - Canal de Chalco	Localizada en la confluencia de ambos canales	6
Planta de Bombeo Miramontes	Evacua al Semiprofundo Canal Nacional - Canal de Chalco hacia el río Churubusco	20
Laguna de regulación Ciénega Chica	Regula los escurrimientos del río San Buenaventura	800,000 m <sup>3</sup>
Laguna de regulación Ciénega Grande	Regula los escurrimientos del río San Buenaventura	1,200,000 m <sup>3</sup>

A partir de 1975, año en que se concluyó la primera etapa del Sistema de Drenaje Profundo, ha sido el componente más importante del sistema de drenaje del Distrito Federal. Actualmente cuenta con 164 km de túneles en operación.

Actualmente se encuentra en proceso constructivo el entubamiento del Gran Canal del Desagüe en 9.5 km que se ubican dentro del Distrito Federal, de los cuales 6.6 km ya se encuentran en operación.

El Acueducto Perimetral está localizado al poniente de la Ciudad y es un túnel de 4 metros de diámetro y 33.7 kilómetros de longitud en operación comprendidos entre el Portal San José, en la delegación Cuajimalpa y el Pueblo de San Francisco Tlalnepantla en la delegación Xochimilco. El objetivo de esta obra es distribuir los caudales de manera más eficiente provenientes del Sistema Cutzamala y de las futuras fuentes de abastecimiento externas al Valle de México, entre los habitantes del Distrito Federal, especialmente aquellos ubicados en las zonas sur y oriente. Es importante mencionar que actualmente esta obra se encuentra suspendida.

### **SISTEMA CUTZAMALA**

<b>INSTALACIÓN</b>	<b>ETAPA</b>	<b>PUESTA EN OPERACIÓN</b>
Presa Villa Victoria	Primera	Abril - mayo 1982
Presa Valle de Bravo	Segunda	Julio 1985
Presa Chilesdo	Tercera	Junio 1992
Presa Colorines	Tercera	Enero 1995

Aunado a lo anterior, la Ciudad de México presenta un déficit hidráulico de aproximadamente  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ , para cubrirlo se estudian diversas alternativas entre las que se encuentra la ampliación de la cuarta fase del Sistema Cutzamala, que consiste en conducir agua de la cuenca del Río Temascaltepec a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

El proyecto de Temascaltepec pretende conducir al valle de México  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  recorriendo una longitud de 175 km desde la fuente de captación hasta el punto de entrada a la ciudad de México, de los cuales  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  serán para el Distrito Federal y  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  para el Estado de México. Hasta la fecha no ha sido posible poner en marcha el proyecto debido a los problemas sociales que han imperado en la zona; a partir de que estos se resuelvan la construcción del sistema durará aproximadamente 3 años.



## CAPÍTULO SEGUNDO

### CATASTRO DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA

#### 2.1 Antecedentes

Dentro de las acciones que se realizan para plantear, analizar y proponer alternativas que nos permitan afrontar la problemática prevaeciente, destaca la realización de estudios y proyectos sobre el sistema hidráulico de la ciudad que es considerado uno de los más extensos, complejos y dinámicos del mundo.

En virtud de lo anterior y con el fin de contribuir a realizar eficazmente diversas acciones de planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento en los sistemas de agua potable, drenaje y agua residual tratada, es necesario contar con información actualizada de la infraestructura hidráulica que los conforma. En virtud de lo cual es prioritario llevar a cabo estudios y proyectos dentro del sistema hidráulico de la Ciudad y, la actualización del catastro de la infraestructura hidráulica es una de las actividades básicas.

#### 2.2 Objetivos del catastro

Contar con información actualizada de la infraestructura hidráulica del Distrito Federal y con un sistema computarizado de control de la información que permita programar las actividades con mayor eficiencia y registrar en forma confiable cualquier modificación o ampliación del sistema hidráulico.

Dejar evidencia escrita y gráfica, así como el registro de ésta en medios magnéticos, de su estado y características físicas, con información confiable y de fácil consulta.

Un objetivo complementario es que, junto con las labores de medición y recolección de datos (ubicación, nivelación e inspección), en ocasiones cuando sea necesario, se efectúen trabajos que mejoren las condiciones del sistema como: renivelación de tapas y desazolve o achique de cajas, entre otros.

### **2.3 Metodología de las actividades**

El trabajo de Catastro de redes se circunscribe en las labores técnicas de planeación de rutas y de ubicación, nivelación e inspección de pozos de visita o cajas de válvulas, así como el resumen de estas actividades, su representación gráfica y el análisis de los datos obtenidos en campo. Estas actividades constituyen una secuencia de ejecución en la que todas son igualmente importantes.

En ocasiones la secuencia normal se ve afectada por la necesidad de ejecutar trabajos especiales, como búsqueda de estructuras ocultas, desasfaltado y desazolve o achique de pozos y cajas y pruebas de interconexión; además, siempre deben elaborarse reportes de avance u otras comunicaciones para los supervisores en los que den a conocer la situación de dichos trabajos. Estos trabajos especiales y administrativos también forman parte del proceso de ejecución, pero deben programarse y realizarse

conforme se requiera, procurando reducir al mínimo los tiempos de espera para las actividades de rutina.

A continuación se da una breve explicación de cada una de las actividades que integra la secuencia general del catastro, en las figuras 1 y 2, se presenta la secuencia y la interrelación entre los pasos en forma de diagrama de flujo, para el caso de redes de alcantarillado y redes a presión, respectivamente.

### Procedimiento General

- a) **Definición de la zona y tipo de red.** El tipo de red, su ubicación y extensión, son indicados por el Organismo Operador. Asimismo, se señalan los trabajos de campo y gabinete para ligar las diferentes áreas de trabajo asignadas.
  
- b) **Recopilación de información.** Los planos base empleados se refieren a la planimetría básica digitalizada disponible y a los levantamientos de redes de agua potable y drenaje existentes, si los hay; es posible solicitar también otros planos o estudios que se considere sean de utilidad.
  
- c) **Análisis de información recopilada.** Mediante este análisis se identifica la información más actualizada y confiable y se descarta la que es inútil; asimismo, se ubican los lugares que presenten mayor confusión o dificultad, en los cuales deben intensificarse la investigación y el control de calidad para los trabajos de campo.

- d) **Recorridos de verificación preliminar.** Paralelamente a la actividad anterior y con el fin de verificar la exactitud de los datos recopilados, se realizan recorridos de campo, durante los cuales se lleva un plano que resume dicha información; en él se anota, por ejemplo, si existen más pozos o cajas que los indicados en el plano y señala su ubicación aproximada. Estos recorridos permiten programar las rutas de nivelación y demás trabajos de campo. Además de lo anterior, el recorrido sirve para tener un panorama general de los servicios (pavimentación, urbanización, etc.), topografía de la zona y los posibles problemas a enfrentar.
- e) **Ubicación de pozos de visita, cajas y elementos especiales.** Todos los pozos de visita o cajas de válvulas se referencian en campo, para lo cual se forman brigadas de personal dotadas de equipo para desviar el tráfico, medir distancias y brújula para orientarse y dibujar los croquis de localización. Las brigadas recorren la zona conforme a una ruta definida previamente. Esta actividad se registra en los formatos correspondientes.
- f) **Ubicación de coladeras e hidrantes.** Para ubicar las estructuras complementarias de la red, como coladeras pluviales, hidrantes contra incendio o garzas para el abastecimiento de carros - cisterna, basta con que una persona recorra caminando la ruta establecida y marque en una copia de la zona, la posición aproximada de cada elemento, sin que sea necesario llenar ningún formato.
- g) **Deducción en gabinete de estructuras ocultas.** Una vez que se cuenta con planos que incluyan todos los pozos o cajas encontrados en los recorridos, se analizan para verificar la posible existencia y la posición de

otros no visibles. Para tal efecto se revisan las separaciones que guardan entre sí los pozos o cajas tanto en los planos levantados como en otros planos de la zona u otras fuentes.

- h) **Detección en campo de estructuras ocultas.** Cuando se ha definido la ubicación probable de un número suficiente de estructuras ocultas, se programa la ruta que debe seguirse en el trabajo de detección. Para facilitar la localización de las tapas ocultas, se usa un detector de metales y se pregunta a los vecinos que tengan más tiempo de residencia en la zona, sobre la posible existencia de dicha estructura.
  
- i) **Planeación de rutas de nivelación.** Con base en la posición relativa y cercanía de los pozos de visita a los bancos de nivel oficiales que designe el Organismo Operador u otros que puedan establecerse, se programan las rutas de nivelación para lo cual debe procurarse formar circuitos de aproximadamente un kilómetro de longitud que partan de un banco oficial y lleguen a ese mismo banco u otro también oficial; es decir, se trata de formar circuitos cerrados o con doble altura de aparato.

Cuando hay estructuras fuera de los circuitos, se determina de cuales bancos parten las nivelaciones complementarias correspondientes, cuyo trazo se basa en el método de ida y vuelta o en el de doble altura de aparato con apoyo en puntos conocidos de los primeros circuitos de nivelación, es indispensable identificar cada pozo por medio de una clave. Por otro lado, para lograr mayor eficiencia en los trabajos de nivelación topográfica, si esto no retrasa otras actividades, conviene programarlos

cuando se haya concluido la localización de pozos ocultos y su enrrasamiento.

- j) **Nivelación de pozos de visita.** Para determinar la elevación de las tapas de los pozos de visita, deben respetarse los circuitos de nivelación establecidos en la actividad anterior y comprobar que los errores de cierre no excedan en ningún caso la tolerancia de 5 mm por kilómetro nivelado. Los registros de nivelación se llevan en libretas convencionales; los datos obtenidos se vacían posteriormente en los formatos para tal fin.
- k) **Desasfaltado (o desenterrado) de estructuras ocultas.** Cuando se han ubicado con precisión un número suficiente de estructuras no visibles, se desasfaltan. En esta actividad se emplea un mínimo de dos peones por estructura; uno de ellos realiza el desasfaltado, mientras el otro desvía el tránsito de vehículos o le ayuda a mover el escombros. Debe tenerse especial cuidado con el gas que posiblemente esté atrapado en pozos de visita asfaltados y más aún en las cajas de válvulas.

Existe otra actividad relacionada con la presente, y que se refiere a la apertura de tapas selladas, su ejecución en campo es regida por los mismos lineamientos que el desasfaltado; ya que es un trabajo especial.

- l) **Renivelación de las tapas de pozos o cajas respecto al pavimento.** Debe realizarse el mismo día del desasfaltado, para lo cual debe contarse con el personal, material y herramienta necesarios, así como con el vehículo para el traslado del material al sitio donde se efectúen las obras y el retiro del escombros.

- m) **Desazolve o achique.** Si al destapar una caja de válvulas o un pozo de visita se encuentra que contiene agua, azolve o basura, y ello impide su inspección; debe eliminarse ese obstáculo hasta un nivel que permita obtener la información requerida.
- n) **Inspección de pozos o cajas.** Si el pozo o caja no presenta problemas para su inspección desde el exterior (medición de profundidad y diámetro mediante el uso de escantillón en los pozos de visita), se llena la última parte del formato correspondiente.
- o) **Pruebas de interconexión.** Cuando las observaciones de campo o el análisis de gabinete no aclaran el comportamiento hidráulico de una parte de la red de alcantarillado, se efectúan pruebas para determinar la interconexión y dirección del agua en las tuberías.
- p) **Vaciado de la información.** Los datos obtenidos en campo deben registrarse en copias de los planos por medio de colores; lo anterior permite evaluar el avance logrado, programar las actividades faltantes y revisar y analizar los datos para decidir si procede o no su dibujo definitivo. Esta actividad debe realizarse inmediatamente después que se realice el trabajo, ya que cualquier duda es más fácil de aclararse.
- q) **Comparación de medidas de campo contra planimetría.** Al vaciar la información recabada en campo a los planos base, se verifica si las medidas de referencias entre cada caja o pozo de visita y los paramentos u otros pozos se puedan representar de manera conveniente en la escala

establecida; en caso de dificultad, debe investigarse si la fuente de error es el plano base o algún dato de campo. Si el Organismo Operador así lo autoriza, los pozos o cajas se ubican con base a la referenciación de paramentos, aunque la distancia entre estructuras difiera de la real.

- r) **Análisis de congruencia.** Cuando se haya vaciado toda la información en los planos base y no existan problemas de representación gráfica, debe verificarse la congruencia lógica de la información: por ejemplo, en los pozos de visita el diámetro del tubo de salida no debe ser menor que el de los de llegada.
  
- s) **Depuración o confirmación de datos.** Cuando el análisis de la red revela que existen incongruencias o que no se cumplen las normas de construcción, debe confirmarse si es por errores de campo o de interpretación de la información reportada, o bien si se trata de deficiencias reales del sistema hidráulico (hundimiento del subsuelo, fallas de construcción o la inspección de campo); de confirmarse que existen deficiencias en la red, se da aviso a la coordinación de supervisión por medio del control administrativo que para tal efecto exista.
  
- t) **Elaboración de planos finales.** Una vez depurada la información se elabora el plano o los planos definitivos de la zona levantada.
  
- u) **Elaboración del informe final.** Toda la información del levantamiento se entrega al Organismo Operador de la siguiente forma: original de la memoria descriptiva, de la cual pueden o no formar parte los resúmenes de información. Por separado se anexan los planos.



Asimismo, se entrega a través de medios magnéticos la información recabada en campo, tanto las fichas como los planos.

- v) **Integración de la base de datos.** Durante la ejecución del catastro de redes, se generará un volumen importante de información, cuyo almacenamiento, manejo y entrega en medios magnéticos, es importante homogeneizar.

Por lo anterior, es importante elaborar una serie de lineamientos con el fin de establecer la estructura que deberá cumplir la información que será presentada en medios magnéticos, para que dicha información pueda ser incorporada en un sistema de información que integre tanto información gráfica (dibujo de las redes) como alfanumérica (base de datos de cada estructura o componente de la red) y todo esto referenciado a su ámbito geográfico (cartografía digital), de manera que permita tener una visión completa de la infraestructura hidráulica junto con los datos descriptivos de cada una de las redes, y de donde se deriven datos para el establecimiento de programas de operación, construcción y mantenimiento, así como para llevar a cabo la actualización de la información tanto cartográfica como de bases de datos.

El objetivo de dichos lineamientos es:

Especificar la estructura en términos de niveles, colores, tipo de líneas y atributos entre otras cosas, de los archivos gráficos de las redes de agua potable, drenaje y agua residual tratada.

Especificar la estructura de la base de datos relacional asociada a los archivos gráficos que contienen toda la información no gráfica y de atributos.

## **2.4 Problemática prevaleciente en la ejecución del catastro en la ciudad de México**

La ciudad de México, en un alto porcentaje, se localiza en terreno plano. En los últimos años, debido al crecimiento de la mancha urbana, han proliferado los asentamientos en las faldas de los cerros circundantes; estos asentamientos no siempre son regulares por lo que es difícil dotarlos de una infraestructura adecuada. Esto resalta algunas diferencias para las diversas zonas de trabajo, como son:

- I. En zonas con urbanización regular (casi siempre topografía plana y suave), las actividades de levantamiento pueden ser muy eficientes, con rendimientos cercanos y superiores a los indicados.
  
- II. Entre algunos de los posibles problemas a enfrentar están: diámetros de tubos fuera de especificación; tubos que descargan a pozos de visita ubicados en propiedades privadas; estructuras bajo el adoquín de andadores, estos principalmente en fraccionamientos privados y descargas importantes de fábricas, unidades habitacionales u otros inmuebles con red de drenaje privada. Los pozos fuera de funcionamiento y cajas sin válvulas y ocasionalmente sin tuberías, son encontrados en este tipo de zonas.

III. En zonas con urbanización irregular (generalmente en cerros o cercanas a tiraderos de basura) el desarrollo de las actividades se entorpece significativamente porque hay que realizar una deducción y detección muy detallada de estructuras por lo incompleto que suelen ser las redes hidráulicas. En estas zonas se pueden encontrar, estructuras dentro de propiedades privadas, tubos bajo construcciones, tubos sin aparente punto de descarga, diámetros y profundidades de tubos fuera de especificación.

## **2.5 Consideraciones importantes en la ejecución del catastro**

Las estructuras deben mantenerse destapadas el menor tiempo posible, para evitar accidentes al personal, vehículos o peatones; una vez concluidos los trabajos, se verificará que las tapas queden colocadas correctamente.

Los materiales producto de desazolve u obras de renivelación, deben retirarse a la brevedad para evitar molestias a la población.

Antes de elaborar el informe final es necesario avalar y complementar la información levantada con personal técnico de las instancias correspondientes.

Es fundamental mantener actualizado en forma oportuna y confiable el catastro de la infraestructura.

Desde el punto de vista de la seguridad del personal y de las fuentes de posibles retrasos por fallas de coordinación las actividades más delicadas

son las de nivelación e inspección de los pozos de visita y cajas de válvulas. Por tal motivo, enseguida se enlistan algunos cuidados especiales que deben tenerse al realizarlas y que son producto de experiencias previas.

Antes de efectuar cualquier trabajo de campo, debe reunirse y analizarse toda la información posible sobre la red por levantar, para evitar trabajos innecesarios.

Debe capacitarse e instruirse al personal acerca de la forma de llenar los formatos adecuadamente. Las rutas de nivelación y la numeración (claves) de los pozos y cajas deben planearse en forma apropiada.

Debe emplearse sólo el personal estrictamente indispensable en cada brigada de campo, pues el empleo de un número de trabajadores superior al necesario entorpece y encarece los trabajos.

Debe exigirse a cada brigada cierto rendimiento diario como mínimo, y en caso de que los supere, se procurará hacer un reconocimiento a su labor.

Debe dotarse a cada brigada de campo con suficientes planos y copias de formatos, estos últimos desde gabinete llevarán la nomenclatura de cada pozo o caja señalada en la ruta de trabajo. Además, en las formas deben registrarse previamente en oficina la mayor cantidad de datos posible, para evitar errores en campo y asegurar mayor eficiencia.

La distancia entre dos pozos de visita las tomarán dos personas con la ayuda de una cinta y en forma horizontal.

---

---

Si se encuentran encharcamientos y azolves durante la actividad de localización de coladeras pluviales, debe colorearse la zona del plano. Aunque no se dibujará en los planos finales, dicha información es necesaria para elaborar los reportes parciales de avance y el diagnóstico de la red que deben entregarse.

Conviene que una sola personal realice la detección de estructuras ocultas, ya que con su experiencia evitará señalar estructuras ajenas al sistema que se investiga (por ejemplo, cajas de luz o de teléfonos).

Se recomienda formar brigadas especializadas en cada actividad (por ejemplo, inspección de cajas de válvulas), a fin de obtener mejores rendimientos y datos confiables.

Es indispensable que la información de campo se vacíe en los planos si es posible el mismo día, ya que cualquier duda sea más fácil de aclarar por el personal de campo, así, si se requiere de verificación en campo, se aprovecha que las brigadas están trabajando cerca de esa zona.

## **Seguridad**

Debe dotarse al personal de todo el equipo de seguridad necesario, como chalecos reflejantes, guantes, botas, cascos, detector de gases, botiquín completo, banderolas y conos para desviar el tráfico. Si los trabajadores entraran a los pozos de visita, debe proporcionárseles el equipo requerido para esta actividad; si el tráfico es intenso, se les facilitarán letreros y si es

---

---

necesario, un vehículo con torreta luminosa para desviar el tráfico. Debe instruirse al personal acerca del uso de ese equipo.

En trabajos nocturnos, la cantidad de vehículos disminuye, pero la velocidad de éstos suele ser mayor y por tanto, más peligrosa, especialmente los fines de semana, cuando aumenta el número de conductores en estado de ebriedad. El equipo de seguridad vial que se proporcione debe estar en función de la hora y el sitio de trabajo.

Debe indicarse al personal la manera correcta de colocar las señales viales, especialmente en curvas verticales y horizontales, para prevenir con la anticipación debida a los conductores.

La persona que abra las tapas de los pozos o cajas debe hacerlo con una barreta o pico; además usará botas con casquillo de acero y guantes gruesos, como protección contra golpes que puedan causar la amputación de pies o manos.

Además de los medicamentos normales, el botiquín debe contener sueros contra picadura de animales ponzoñosos, mascarillas de oxígeno y gotas para lavar los ojos.

Debe procurarse obtener los datos de los pozos de visita desde el exterior, y sólo introducirse en ellos cuando sea indispensable. En caso de que esto sea necesario, el trabajador que descienda debe utilizar invariablemente equipo de seguridad extra (arnés, cuerda, mascarilla, botas, entre otros).

El jefe de cada brigada debe ser entrenado respecto a procedimientos de emergencia y primeros auxilios; asimismo, debe llevar consigo los números de teléfono de ambulancias, policía, hospital y oficinas centrales, y conocer la mejor ruta para llegar al hospital más cercano.

FIGURA 1 DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL CATASTRO DE REDES DE ALCANTARILLADO

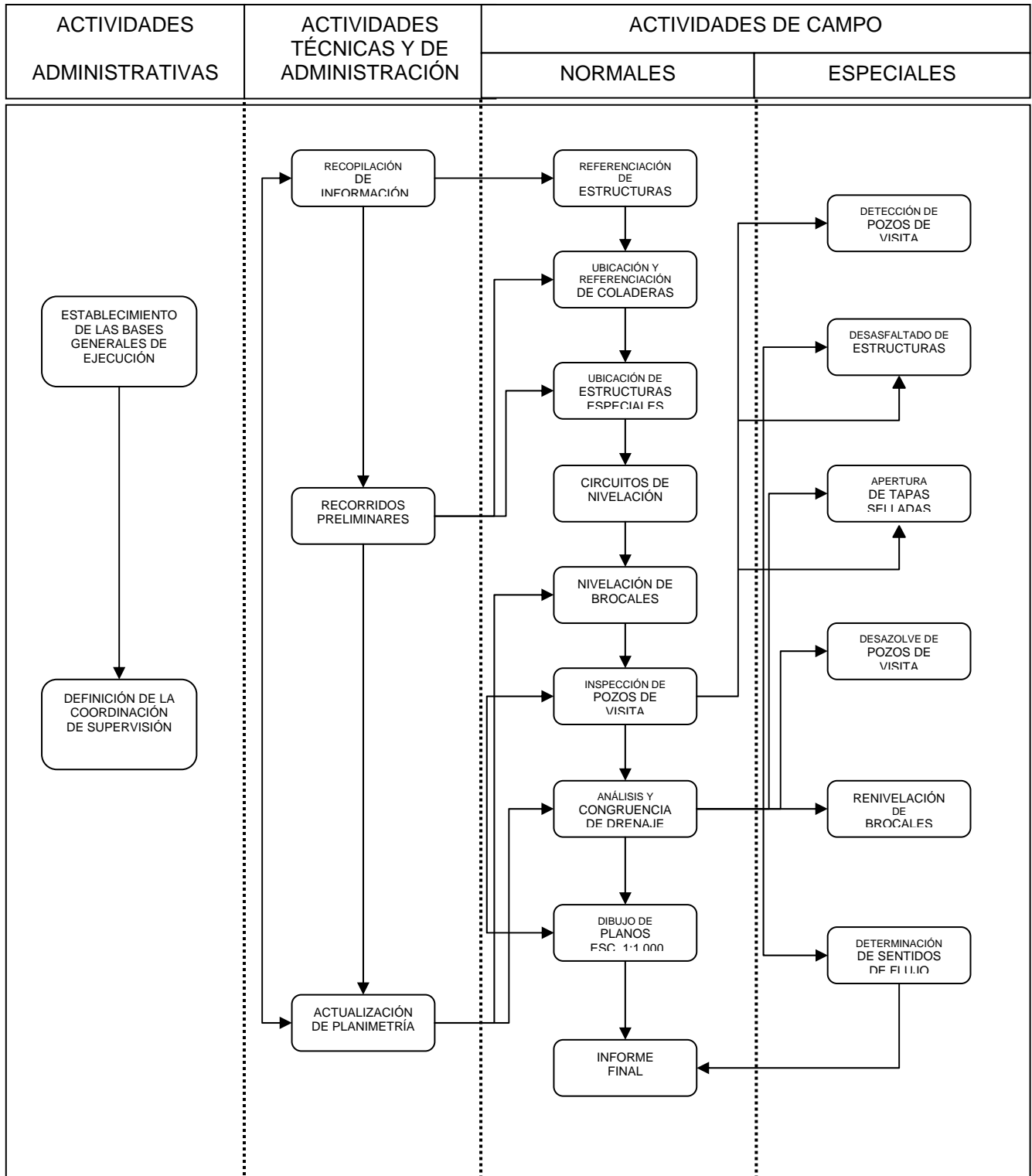
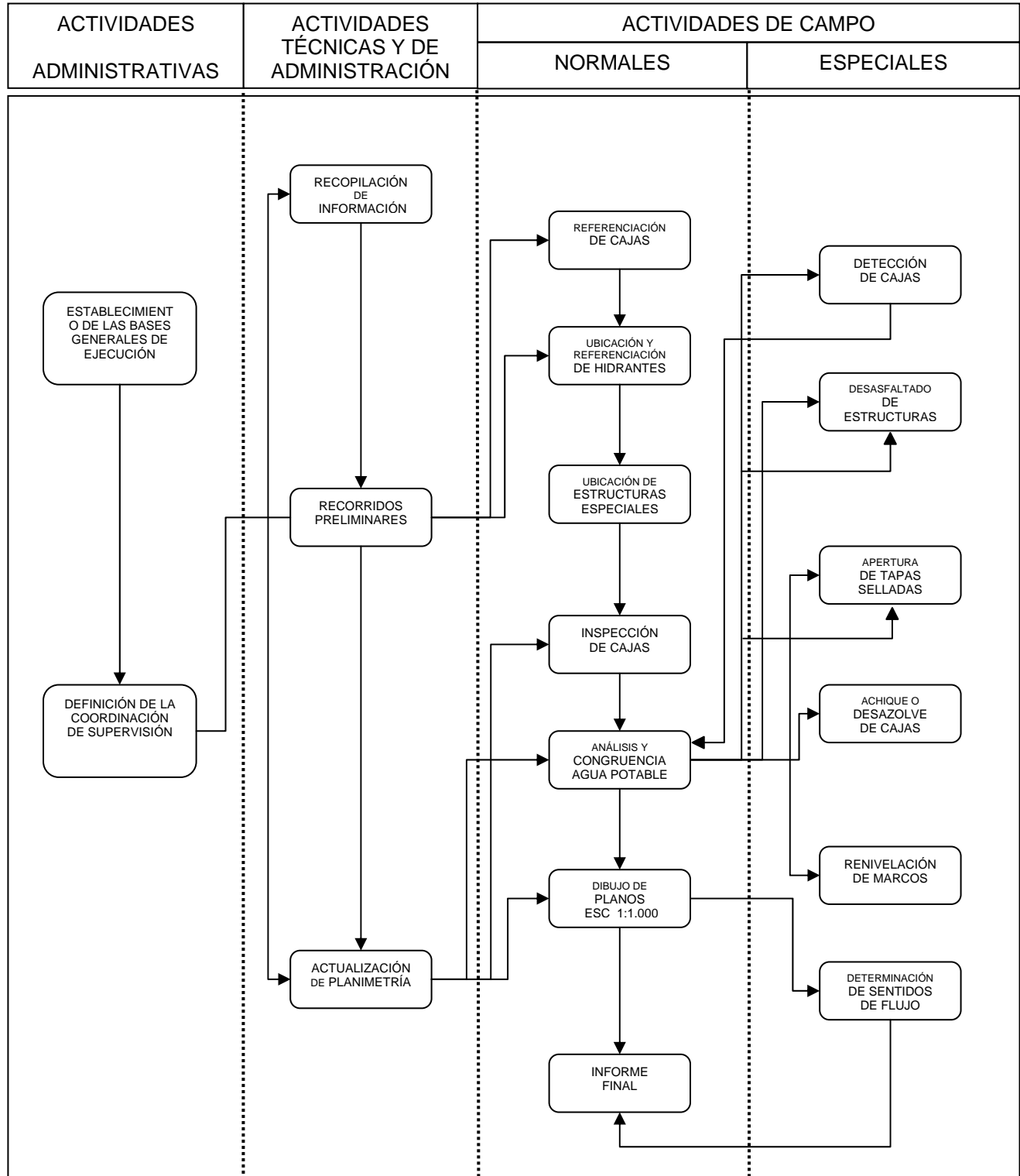




FIGURA 2 DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL CATASTRO DE REDES DE AGUA POTABLE Y AGUA RESIDUAL TRATADA



## CAPÍTULO TERCERO

### DETECCIÓN Y ELIMINACIÓN DE PÉRDIDAS DE AGUA POTABLE

Una forma efectiva de conservar el agua y ahorrar dinero es reducir las pérdidas de agua potable a través de la reparación de fugas y la disminución de los niveles de agua no contabilizada en los sistemas urbanos.

#### 3.1 Definiciones

##### Fuga

Una fuga es un escape físico de agua en cualquier punto del sistema de agua potable, puede ocurrir en conducciones, tanques de almacenamiento, redes de distribución, conexiones domiciliarias y dentro de la casa de los usuarios, tal como se muestra en la fig. 1.

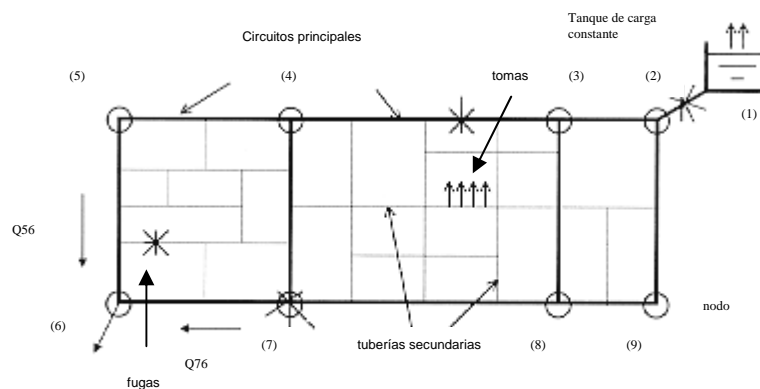


Fig. 1.- Esquema de una red con fugas

Hay dos tipos de fugas: Visibles y No Visibles. Las fugas visibles emergen hacia la superficie del terreno o pavimento. Sin embargo, la fuga puede estar localizada a una distancia considerable del punto donde fue descubierta. La mayoría de las fugas visibles son descubiertas por los lecturistas, operadores y usuarios. Los derrames en tanques son considerados fugas visibles.

Las fugas no visibles se infiltran en el suelo o pueden drenar hacia el alcantarillado o canales.

Según el lugar donde ocurren las fugas pueden clasificarse en seis categorías, como sigue:

- a) Fugas en depósitos.- ocurren por agrietamiento de las estructuras o el rebose de los niveles de agua. En general, son de gran magnitud, esporádicas y de corta duración. Entonces se deben realizar inspecciones del estado físico de los tanques de almacenamiento y dar mantenimiento a las válvulas de control de los niveles de agua.
- b) Fugas en conducciones, líneas principales y secundarias (fig. 2).- Sus caudales aproximados están en un rango de 250 ml/s hasta 10 l/s y en ocasiones hasta más. Las fugas se deben al efecto de la corrosión que usualmente inicia en fallas pequeñas, pero pueden crecer con el tiempo a fallas muy grandes, también son producidas por cargas superficiales, instalación defectuosa y defectos de fabricación del material de los tubos. El golpe de ariete debido a cambios bruscos en la operación del sistema provoca fugas de esta categoría.

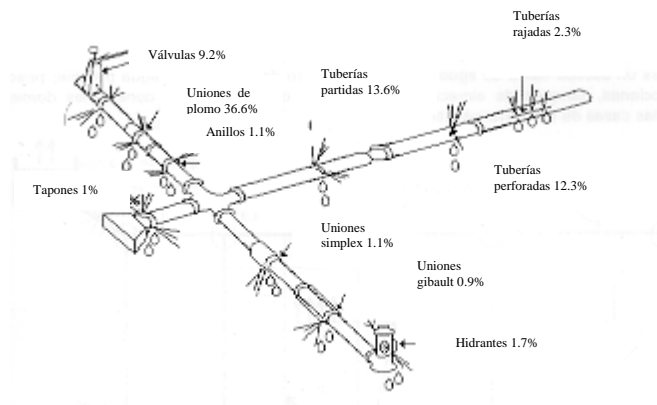


Fig. 2.- Ubicación y frecuencia de fugas en líneas principales y secundarias

c) Fugas en conexiones domiciliarias (fig. 3).- Estas fugas tienen caudales entre 20 y 250 ml/s en promedio y pueden presentarse como rajaduras, perforaciones, corte o piezas flojas. El primero y cuarto tipo de falla se asocian con la mala calidad de los materiales empleados o instalación deficiente, el segundo y tercer casos a factores externos.

d) Fugas en el cuadro del medidor.- Normalmente son goteos que representan un caudal de 50 a 100 l/h (menores que 20 ml/s y son básicamente producidos por piezas flojas y falta de hermeticidad del micromedidor.

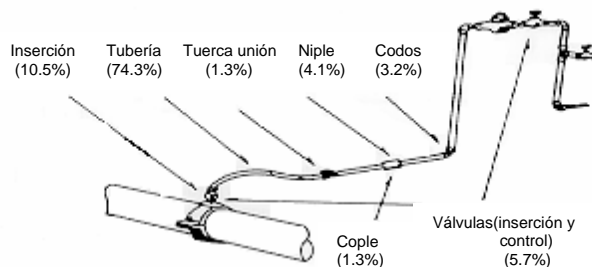


Fig. 3.- Ubicación y frecuencia de fugas en tomas domiciliarias

- e) Fugas en cajas de válvulas.- varían entre 200 ml/s hasta 1 l/s. Se producen por roturas de empaques o volantes de las válvulas. Las fugas pueden ocurrir en válvulas de seccionamiento, reductoras de presión, reguladoras de presión, de admisión y expulsión de aire, etc.
- f) Fugas intradomiciliarias.- principalmente se presentan en los herrajes de los WC o bien en empaques de regaderas o llaves.

En general, las principales causas de ocurrencia de fugas son:

Presión alta	Mala calidad de los materiales y accesorios
Corrosión externa	Mala calidad de mano de obra
Corrosión interna	Edad de las tuberías
Efectos del tráfico de vehículos	Movimiento del suelo (sismos)
Hundimientos diferenciales (Ciudad de México)	

En México se ha concluido que en los sistemas de distribución de agua potable, las fugas ocurren entre un 80 y 90 por ciento en las tomas domiciliarias y que se deben principalmente a la mala calidad de los materiales, a la mala construcción y a que no se respeta la normatividad.

Muchas fugas son pequeñas cuando ocurren, pero crecen con el tiempo. Así, el promedio de vida de las fugas puede ser de varias semanas, meses y hasta años. Para efectos de evaluación económica, en México es correcto suponer que las fugas potenciales tiene periodos de existencia iguales a un año en zonas de la ciudad relativamente nuevas, de dos a cinco años en áreas seminuevas y de 10 años en zonas muy viejas (por ejemplo la zona Centro).

## **Agua no contabilizada**

El agua no contabilizada es agua utilizada en algún punto del sistema, pero que el organismo operador no puede cuantificar con exactitud el volumen correspondiente.

Básicamente el agua no contabilizada puede ser provocada por:

Errores de medición

Errores de facturación

Usos no autorizados

### **3.2 Problemas de recuperación de pérdidas**

Después de hacer un análisis, se resume que los problemas de fugas son originados por:

Desconocimiento de técnicas para su detección.

Falta de financiamiento.

Ausencia de programas sistemáticos de recuperación y control de pérdidas.

Errores en la estimación real de las fugas (no hay auditoría del agua).

Escaso adiestramiento y capacitación.

Es común que los operadores de los sistemas de distribución estén preocupados por la recuperación de estas pérdidas de agua, realizando prácticas de localización y reparación de fugas, calibración de medidores, identificación de usos no autorizados, etc. lo cual ha motivado a que, bajo circunstancias precipitadas, adquieran equipos o implanten actividades que por lo general siempre conducen a altos costos y eficiencias reducidas.

Algunas de estas herramientas que se ofrecen en el mercado son equipos detectores y localizadores de fugas, técnicas de construcción y reparación, medidores de gasto y volumen, programas de cómputo, entre otros.

Sin embargo es conveniente recordar que la recuperación de pérdidas tiene las características siguientes:

Es parte de un proceso que arroja resultados en un determinado tiempo, por lo que no es inmediata.

Al inicio puede ser fácil recuperar altos porcentajes de pérdidas a un costo relativamente bajo, pero después de un cierto nivel, la relación de costo aumenta considerablemente debido a que se vuelve más difícil localizar las pérdidas o detectar las fallas en su control.

Existe siempre un nivel mínimo aceptable que físicamente se puede alcanzar, debido a que la ocurrencia de pérdidas es un proceso dinámico dependiente de parámetros no controlables.

Como se puede observar en la fig. 4, recuperar el agua del 50% al 30% tendría un costo inferior a recuperar del 30% al 20%, e inferior a recuperar del 20% al 15%. Y más allá del valor límite del 15%, los costos de cada 1% se incrementan notablemente. Entonces el reparar o rehabilitar los daños en las tuberías que ocasionan las fugas, o corregir errores de contabilización, puede ser conveniente y rentable hasta cierto nivel de pérdidas, siempre y cuando la relación beneficio – costo de la recuperación sea mayor que uno, en México

es aceptable un 20% de fugas y el valor límite se considera del 15%, respecto al volumen total suministrado, aparte de las pérdidas comerciales.

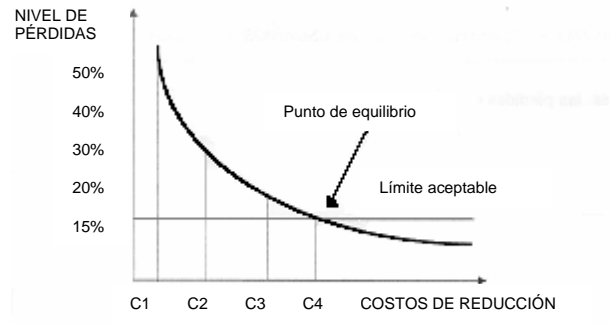


Fig. 4.- Curva de costo vs nivel de reducción de pérdidas

Por lo tanto se puede decir que, reparar o rehabilitar los daños en las tuberías que ocasionan las fugas o mejorar la medición o facturación, puede ser conveniente y rentable hasta cierto nivel de pérdidas, sobre todo si la relación beneficio de la recuperación de agua – costo del trabajo ejecutado es mayor que uno. Además será necesario mantener una serie de controles que disminuyan el tiempo que permanece la fuga en algún lugar del sistema o que aumente la eficiencia de medición o facturación. O sea, ***la recuperación integral de pérdidas de agua se logra a partir de un diagnóstico confiable, con eliminación y control***, de manera, optimizada y con recursos y técnicas adecuadas a cada caso particular.



¿Que es la recuperación integral de pérdidas de agua?

La recuperación integral de pérdidas de agua es un proceso dinámico en tiempo y espacio que inicia con un diagnóstico, involucra la eliminación y su control, y que aplicado en forma precisa a la operación y mantenimiento de sistemas de agua potable, ayuda a conservar el agua suministrada a las ciudades, a mejorar la calidad del servicio proporcionado a la población por el organismo operador, a ahorrar dinero en gastos de energía eléctrica y potabilización y a aumentar los ingresos por la venta de agua a los usuarios.

Una manera de enmarcar las actividades correspondientes a la recuperación integral de pérdidas de agua es dividiéndolo en tres partes.

Diagnóstico de pérdidas. En el se evalúan los volúmenes de agua que se pierden y sus principales patrones de ocurrencia, y se identifican las causas que las producen, a través del análisis de los subproyectos básicos, estadísticas y muestreo de campo, las técnicas de detección de fugas son elementales para obtener el diagnóstico.

Eliminación de pérdidas. Se definen los procedimientos, equipos y modelos de decisión, para facilitar la búsqueda de pérdidas y subsanar el daño existente.

Control de pérdidas. Se plantean los subproyectos de acciones, ya sean directas, indirectas o de apoyo, que permita establecer una estructura adecuada dentro de una empresa de agua para apoyar la recuperación integral de pérdidas de agua, de forma ordenada y con actividades objetivas.

El costo integral de la recuperación integral de pérdidas es igual a la suma de los costos de los trabajos de gabinete, más, los de las actividades de campo. El costo total depende del tamaño del sistema de agua potable, la disponibilidad de información, confiabilidad de datos, equipo utilizado y personal asignado. Los trabajos más caros en la elaboración del proyecto son: a) Diagnóstico.- las verificaciones de medidores, aforos e inspecciones de fugas, medición de volúmenes en distritos hidrométricos necesarios; b) eliminación.- las mediciones de presión y caudal para la calibración del modelo numérico, sustitución de tomas, rehabilitación de la red, corrección de errores a medidores; y c) control.- catastro de redes, padrón de usuarios, estadística de fugas y atención al público.

Diagnóstico de pérdidas, base de la recuperación integral.

Al realizar un balance de agua en un sistema de distribución de agua lo que se espera encontrar es una relación del tipo que se muestra a continuación:

***SUMINISTRO = (CONSUMO MEDIDO DE USUARIOS + CONSUMO ESTIMADO + PÉRDIDAS DE AGUA)***

Y a su vez, las pérdidas de agua pueden dividirse en:

***PÉRDIDAS DE AGUA = (FUGAS EN TUBERÍAS PRINCIPALES Y SECUNDARIAS + FUGAS EN CONEXIONES DOMICILIARIAS + CONEXIONES NO AUTORIZADAS + ERRORES DE SUBMEDICIÓN DOMICILIARIA + ERRORES DE FACTURACIÓN)***

---

El diagnóstico implica la descripción técnica, clara y concisa del estado de pérdidas; es decir, de los efectos observados por las pérdidas de agua, en relación con sus volúmenes, porcentajes, recuperación potencial y problemas que las originan. El diagnóstico se basa en estudios de muestreo y estadísticos, sobre el estado físico que guarda la red de distribución y el estado de los subproyectos básicos que se deben desarrollar para apoyar su control.

Es importante mencionar que este diagnóstico tiene varios niveles de aproximación, dependiendo del método utilizado, así por un lado, una evaluación por medición, muestreo y encuesta será más confiable que una estimación basada en registros históricos, por otro lado resultará más costosa la primera. En el mejor de los casos debe buscarse siempre obtener los resultados más confiables, es decir se debe tender a la evaluación con medición.

### **Sectorización de redes en la recuperación de pérdidas**

Los Distritos Hidrométricos DH son sectores que pueden aislarse hidráulicamente de la red de distribución con movimientos de válvulas y que pueden utilizarse para precisar el diagnóstico, detectar fugas, facilitar la eliminación y optimar el control de pérdidas de agua de una localidad.

En el diagnóstico, los DH proporcionan información sobre los volúmenes de fugas que se tienen en líneas principales y secundarias, consumos unitarios de usuarios y usos no autorizados. En la detección de fugas, son utilizados

para definir sectores con mayor incidencia de pérdidas de agua a través de indicadores nocturnos. Durante la eliminación de pérdidas, evitan que el agua de fugas reparadas en un DH ingrese a otros sectores en donde no se ha llevado a cabo el programa de recuperación. Y en el control de pérdidas hacen más eficiente el establecimiento de los subproyectos básicos.

Para el diseño de los DH se requiere disponer de planos de la red, tener localizadas las válvulas de seccionamiento, delinear una estación de aforo y contar con un modelo de simulación hidráulica calibrado con mediciones de campo. Los DH son dibujados en los planos, señalando el programa de movimiento de válvulas, la ubicación de las estaciones de aforo y haciendo simulaciones hidráulicas de los cierres, para revisar si se generan presiones y velocidades que no cumplen con las especificaciones de diseño.

La construcción de los DH se ejecuta según lo indicado en el proyecto de la red de los sectores integrados. En esta tarea es necesario cambiar o rehabilitar válvulas de seccionamiento, montar las estaciones de aforo, sustituir o desconectar tramos de tubería, cambiar las rutas de algunos ramales y modificar elementos del sistema de distribución.

La operación de la red de distribución con el nuevo trazo, incluyendo los DH, se efectúa periódicamente a lo largo de su vida útil. Las mediciones de caudal y presión, investigaciones económicas, balances de agua y programas de reparación de fugas en cada DH, serán el objeto de la recuperación integral de pérdidas de agua, hasta alcanzar y mantener el nivel deseable en toda la red.

## **Eliminación de pérdidas de agua**

La eliminación de pérdidas de agua se define como cualquier acción que se realiza directamente al sistema de agua potable, con el fin de rescatar agua tanto física como contablemente. Particularmente, se establece en dos sentidos:

Eliminación física.- se presentan dos posibilidades. La primera consiste en detectar, localizar y reparar fugas que aparecen puntualizadas en las tuberías, accesorios o tomas domiciliarias de la red. La segunda considera la acción de limpiar, reparar o sustituir todo un tramo de una tubería de la red.

Eliminación contable.- Se refiere a la corrección de errores de medición, localización de conexiones no autorizadas y ajuste de errores de facturación.

La eliminación es una actividad continua, que se debe ejecutar durante toda la vida útil del sistema de agua, pero hay ocasiones en que será necesario aplicarla de manera intensa, como parte de una acción de corto plazo, cuando los niveles de pérdidas han alcanzado valores no deseables que estén fuera de control.

Para la eliminación existe toda una serie de técnicas disponibles en el mercado, que dependen del ofrecimiento de sus fabricantes y que deben ser aplicadas en forma sistemática y organizada, para lograr una eficacia y eficiencia en la recuperación de pérdidas de agua potable.

¿Por que el control de pérdidas de agua?

Todo proyecto de recuperación de agua perdida debe incluir una serie de elementos que permitan, al organismo operador de un sistema de agua potable, mantener el nivel de agua facturada alcanzado durante la eliminación de pérdidas de agua.

En el programa de control de pérdidas se diseñan e implantan estos elementos, mediante una serie de acciones a corto y largo plazo enmarcados en los subproyectos básicos del cuadro 1. Estos subproyectos básicos serán jerarquizados, detallados en actividades específicas, calendarizados con sus costos y financiamiento respectivos, para que conforme se implanten, se reduzca la posibilidad de retornar a niveles más altos de pérdidas de agua.

<b>Proyectos de operación de servicio</b>	<b>de del</b>	<b>Proyectos de control de usuarios</b>	<b>Proyectos de apoyo logístico</b>
- Catastro de la red de distribución		- Padrón de usuarios	- Desarrollo de recursos humanos
- Catastro de instalaciones	de	- Micromedición y consumos	- Control de suministros
- Hidrometría			- Comunicación social
- Macromedición			
- Control de la operación del sistema			
- Estadística de fugas			

Cuadro 1. Subproyectos básicos del programa de control de pérdidas de agua.

## **Beneficios del proyecto integral de recuperación integral de pérdidas de agua**

La ejecución de un proyecto integral de recuperación de pérdidas de agua conduce a la obtención de beneficios de la manera siguiente:

Reducción de riesgos en la toma de decisiones al comprar equipos o herramientas de detección, localización y reparación de fugas.

Mejoramiento financiero, al programar inversiones y medir los beneficios obtenidos.

Cuantificación de las pérdidas de agua en tomas domiciliarias, tuberías principales, errores de medición, conexiones no autorizadas y fallas en la facturación y determinación del origen de dichas pérdidas.

Incremento en el conocimiento físico e hidráulico de la red por parte de los operadores del sistema.

Uso más eficiente de los recursos existentes, al poder designar actividades congruentes con un proyecto integral de recuperación de pérdidas.

Promoción de la participación de los directivos del organismo operador del sistema de agua potable y aceptación de subproyectos por parte de autoridades externas al sistema.

Las formas de estimar los beneficios económicos al ejecutar el proyecto integral de recuperación de pérdidas de agua son:

Considerar el valor del agua que se pierde incluyendo el pago de derechos y los costos de energía eléctrica y reactivos químicos.

Incluir además reparaciones, mantenimiento, salarios y supervisión de bombeo, tratamiento, conducción y distribución, es decir los costos de operación.

Dividir todos los costos del organismo operador, entre el volumen del agua producido, que para los efectos de este documento se les llama costos de operación.

### **3.3 Técnicas de detección de fugas**

Usualmente cuando se piensa en detección de fugas, se relaciona inmediatamente con equipos electrónicos. Esta es la forma de detección con más acercamiento a la fuga (escuchada por el operador). Pero hay otros métodos de detección de fugas, que incluyen a la medición en Distritos Hidrométricos DH, y al balance del agua. Mas que puntualizar el lugar de la fuga, estos métodos indican si hay existencia de fugas y dan una idea global de dónde pueden estar las fugas. Otra manera más de detección de fugas es a través de la observación de presiones en la red de tuberías y trazadores. Finalmente, hay una forma adicional de detección de fugas, durante los trabajos rutinarios de operación y mantenimiento, o bien reporte de los usuarios.



### **a) Por balance de agua**

Se trata de una técnica eficiente para determinar el volumen total de agua, que potencialmente se está fugando del sistema de distribución. La parte final del balance del agua es la preparación de un plan de localización y reparación, conteniendo elección de equipos detectores y localizadores, tipos de cuadrillas, métodos de inspección de fugas y el costo involucrado. El balance de agua se realiza en periodos anuales y consiste fundamentalmente en identificar el volumen suministrado, dentro del sistema de distribución de agua, o sea, el consumo autorizado medido y no medido, el consumo no autorizado, las pérdidas identificadas y el potencial de pérdidas por fugas y agua no contabilizada.

### **b) Por medición en Distritos Hidrométricos**

Este método puede ser utilizado como una extensión del balance del agua o, en algunos casos, como un método de detección de fugas, Su propósito es determinar si un sector o zona del sistema de agua tiene grandes cantidades de fugas. Para aplicar efectivamente este método, se deben disponer de mapas de la red suficientemente actualizados, tener válvulas ubicadas en los puntos de control y proporcionar una toma para la válvula de inserción del equipo de medición. La técnica de distrito hidrométricos, DH, consiste básicamente en aislar sectores de la red, donde se realizan las mediciones de los volúmenes abastecido u consumido por los usuarios en cada sector, durante un periodo de 24 horas como mínimo.

Con los datos obtenidos en una medición global (curva de consumo dentro del DH en un día), fig. 5, es posible calcular los consumos e índices siguientes:

**CT** = Consumo total en 24 horas, en m<sup>3</sup>/día (área bajo la curva de consumo)

**CHP** = Consumo horario promedio, en m<sup>3</sup>/h, ecuación 1

**CHM** = Consumo horario máximo, en m<sup>3</sup>/h (área máxima bajo la curva de consumo para un intervalo de una hora)

**CMN** = Consumo mínimo nocturno, en m<sup>3</sup>/h (área mínima bajo la curva de consumo para un intervalo de una hora entre las 0:00 y 5:00 h del día).

**ICHM** = Índice de consumo horario máximo, ecuación 2

**ICMN**= Índice de consumo mínimo nocturno, ecuación 3

**CEP** = Consumo específico promedio, en l/s/km, ecuación 4

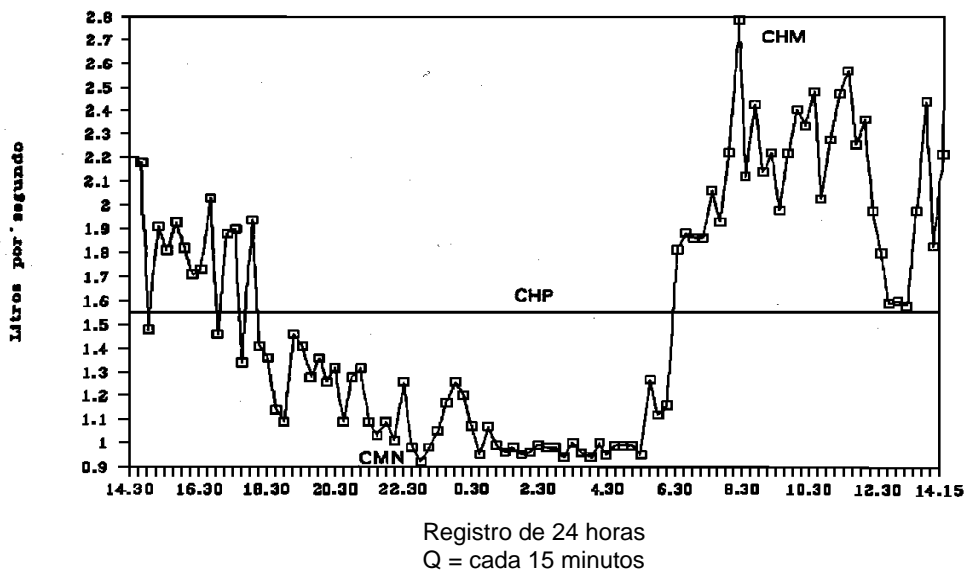


Fig.- 5 Medición global de consumo en un distrito hidrométrico

$$\text{CHP} = \text{CT}/24 \text{ HORAS} \quad (1)$$

$$\text{ICHM} = \text{CHM}/\text{CHP} \quad (2)$$

$$\text{ICMN} = \text{CMN}/\text{CHP} \quad (3)$$

$$\text{CEP} = \text{CHP}/3.6L \quad (4)$$

Donde L, es la longitud de la red o del tramo de red en estudio dentro del DH, en Km.

En sectores con buen mantenimiento y bajo nivel de fugas, el valor de la relación CHM/CMN varía entre 12 y 15.

Al analizar la relación entre el CEP y el consumo “per cápita” promedio diario, es posible observar la densidad de tomas domiciliarias en el DH, así como el patrón socioeconómico de los usuarios. Si el área en estudio es residencial solamente, y no se registraron irregularidades importantes en el abastecimiento, el índice de consumo mínimo nocturno indica la intensidad de las fugas en el DH; pero si existen grandes consumidores en el DH, también se calcula el índice de consumo nocturno doméstico, ICONOD con la ecuación 5.

$$\text{ICONOD} = ((\text{CMN} - \text{cmn})/(\text{CHP} - \text{chp})) * 100 \quad (5)$$

Donde:

**cmn** = Consumo horario mínimo nocturno de los grandes consumidores, en m<sup>3</sup>/h.

**chp** = Consumo horario promedio de los grandes consumidores, en m<sup>3</sup>/h.

Este índice, ICONOD, sirve para eliminar la influencia de los grandes consumidores en el ICMN, y considerar al primero como índice de fugas más fidedigno en este caso.

Si se ha decidido investigar más a fondo el problema de fugas, se procede a hacer una subdivisión nocturna, que consiste en aislar segmentos de la red, dentro del DH, que permitan medir el consumo mínimo nocturno en cada uno de esos segmentos y ubicar así, con más precisión los niveles de fugas.

El periodo nocturno se refiere al intervalo entre las 0:00 y 5:00 horas del día, y se le asigna noche como unidad de medida. Para analizar los resultados de mediciones entre segmentos de la subdivisión nocturna del DH, se define el siguiente parámetro de comparación, ecuación 6.

**CEL** = Consumo específico límite nocturno, en m<sup>3</sup>/noche/m

$$CEL = E \times CMN/L \quad (6)$$

Donde:

**CMN** = Suma de los consumos nocturnos de los segmentos, en m<sup>3</sup>/noche

**L** = Longitud total de la red dentro del DH, en m.

**E** = porcentaje esperado de entrega a los usuarios, ecuación 7

$$E = (CMN - p)/CMN \quad (7)$$

Donde:

**P** = pérdida de agua por fugas, estimada previamente, en m<sup>3</sup>/noche

En redes donde no hay almacenamiento domiciliario, se puede tomar E=0.70 para iniciar el estudio, ajustando este valor posteriormente, con la información obtenida. El consumo específico nocturno de cada segmento, CEN, se calcula con la ecuación 8.

$$CEN = CN/I \quad (8)$$

**CEN** = Consumo nocturno del segmento, en m<sup>3</sup>/noche

**I** = longitud del segmento, en m

Si en algún segmento, el consumo específico nocturno es mayor que el consumo específico límite nocturno, entonces hay un consumo alto en ese segmento, el cual puede deberse a que existe consumo industrial o fugas en la red y/o en las conexiones domiciliarias. En el caso de que CEN > CEL, entonces se procede a la localización de las fugas.

Dentro de los alcances de la implantación de los DH, se pueden enumerar los siguientes:

- ✓ Detección, localización y reparación de fugas no-visibles, económicamente detectables.
- ✓ Identificación y reparación de fugas visibles.
- ✓ Localización de tomas clandestinas.
- ✓ Incremento de la confiabilidad del catastro de la red.

- ✓ Sectorización de pequeños tramos de la red.
- ✓ Mejoramiento de la operación integral de la red.
- ✓ Revisión y mantenimiento de las válvulas de seccionamiento.
- ✓ Determinación de dotaciones y consumos.

La aplicación de los trabajos de recuperación de pérdidas de agua, entre ellas las fugas, debe realizarse en forma sistemática, programada y consistente con beneficios y costos.

### **c) Por sonido**

La detección de fugas por sonido utiliza aparatos electrónicos equipados con audífonos o indicadores de frecuencias. El agua a presión que es forzada a salir a través de una fuga produce una pérdida de energía alrededor del área del tubo y del suelo. Esta energía crea ondas de sonido, que pueden ser captadas y amplificadas por transductores electrónicos o, en algunos casos, por dispositivos mecánicos. Las ondas de sonido son evaluadas para determinar la localización exacta de la fuga. El operador entrenado conduce una inspección para escuchar y registrar los sonidos sospechosos de la red de distribución. Después verifica las áreas con sonidos, para puntualizar las fugas.

### **Tipos de sonido de fugas**

Hay tres sonidos de fuga típicos. El primer sonido está en el rango de 500 a 800 hertz (Hz). Usualmente se origina por el fenómeno de vibración de un orificio en el tubo, que se transmite a lo largo de las paredes de la tubería. La

identificación de este sonido por pruebas en válvulas ó hidrantes, ayudan a detectar tales sonidos. El segundo y tercer tipo de sonido de fuga están entre los 20-250 Hz. El segundo tipo es causado por el impacto del agua contra el suelo en la zona de la fuga. El tercer sonido imita el ruido de una fuente y es causado por el agua que circula en la cavidad del suelo cerca de la fuga. A diferencia del sonido de vibración en las paredes del tubo, la distancia a la que viajan estos dos sonidos, se limita a la zona inmediata de la fuga. Por esta razón, estos dos sonidos son muy importantes en la localización exacta de la zona.

### **Factores que afectan el sonido de fugas**

Hay un número de factores que influyen en el sonido de las fugas, siendo los siguientes:

- ✓ Presión.- las presiones altas en la red favorecen la localización, ya que al salir el agua con mayor presión, golpea el orificio de la tubería y se propaga con mayor intensidad el sonido.
  
- ✓ Tamaño y material del tubo.- Las técnicas de sonido pueden utilizarse en cualquier material de tubería. Pero, debido a que el metal es mejor conductor de sonido que el no metálico, se requieren intervalos de búsqueda más cortos que cuando se inspeccionan tuberías no metálicas. En las tuberías metálicas se tiene mejor transmisión del sonido, en tuberías de P.V.C y A.C. el sonido es completamente apagado. Cualquier sonido en el interior o exterior de una tubería, tiende a ser siempre agudo, siendo favorable para el detector de piso. Los materiales que no son

buenos conductores del sonido agudo son: asbesto – cemento y concreto. La localización de fugas en estos tipos de tuberías se hacen a distancias más cortas.

- ✓ Tipo de suelo.- Observaciones empíricas indican que la arena es normalmente un buen conductor de sonido; la arcilla es un conductor pobre.
  
- ✓ Tipo de superficie.- Pasto y tierra suelta tienden a aislar el sonido, mientras que el concreto y el asfalto son buenos resonadores y dan un sonido uniforme, así:

  - Carpeta pavimentada

Este tipo de carpeta, es una de las que brinda mejores condiciones en la localización de fugas, la superficie es lisa y compacta, el micrófono de piso asienta totalmente sobre la superficie de la carpeta, estas ventajas ayudan a captar el sonido de fuga con mayor exactitud.

- Carpeta asfaltada

Esta superficie no es tan confiable por que la distribución de las partículas del asfalto dejan huecos, es decir quedan partes porosas, donde llegan a formarse pequeñas bolsas de aire, además es un material que sufre deformaciones por temperatura de calor o frío, por lo que las detecciones son más complicadas, por la confusión de sonidos diferentes al de la fuga que se perciben.



- Carpeta de terracería

Presenta varias desventajas. El micrófono de piso no queda bien asentado en la superficie por la presencia de pequeñas piedras ya que al nivel de terreno, en épocas de lluvia la superficie está húmeda ó lodosa y además por los desniveles de terreno se forman charcos de agua, hay que tener cuidado en colocar el micrófono de piso en este tipo de carpeta, su membrana receptora de sonidos, es tan frágil, que con un pequeño golpe puede romperla. Se recomienda hacer una limpieza adecuada, si es necesario nivelar las partes del terreno donde se van a hacer las detecciones o buscar lugares donde se cumplan las condiciones óptimas; esto permitirá tener en buen estado los equipos detectores y se obtendrán mejores resultados.

- Carpeta con hierba o pasto

Es una superficie crítica, tiene las desventajas de la carpeta tipo terracería, el terreno presenta diferentes tamaños de hierba y pasto, lo que no permite asentar bien el micrófono de piso lo cual es un riesgo para el equipo, por que puede haber piedras de diámetro de 2 y 3 pulgadas, cubiertas por la hierba al colocarse encima de ellas y puede ocasionar daño en la membrana receptora del equipo. Se recomienda cortar la hierba o el pasto, despejar bien el área de trabajo, en cada uno de los puntos localizados para hacer las detecciones y evitar daños al equipo.

✓ Tipo de terreno.- Dependiendo del tipo de suelo del lugar donde se presenta una fuga, se tiene diferente calidad de la resonancia del ruido que genera la misma, es importante considerar:

- Terreno duro

En una arena compacta y en un terreno rocoso, se transmite mejor el sonido. Debido a que existe un mínimo de porosidad por lo que el sonido de fugas no se altera, ya que el detector lo capta directamente, además no se forman bolsas de aire que interfieran el sonido.

- Terreno fangoso

De migajón (barro) o donde existe material tipo boleó, no tienen buena resonancia. En el caso de migajón, el terreno es agrietado por la temperatura, expansivo, en estas condiciones el aire penetra por todas las partes agrietadas y al momento de la localización con el micrófono de piso, se mezcla el ruido del aire que está entrando con el de la fuga dificultando su identificación.

- Terreno con material tipo boleó

Existe el mayor porcentaje de bolsas de aire o respiraderos, éstas se generan por el mal acomodamiento de las rocas internas o material, ya que entre ellas existen grandes huecos, que en algunos casos llegan a tener salida a la superficie o al nivel freático, es un terreno donde pueden localizarse grandes resumideros, el terreno no es totalmente compacto,

por que la tierra es fina y suelta, las desventajas son severas para poder hacer una buena detección de fugas en este tipo de terreno.

- ✓ Tipo de fuga.- Una fuga pequeña (grieta u orificio) presenta un sonido agudo de alta frecuencia; un tubo roto, provoca un sonido grave de poca intensidad y baja frecuencia. El primer caso se debe a que el agua aumenta su velocidad en la falla o por que el agua golpea el suelo. En el segundo caso, debido a que la rotura abarca todo el diámetro de la tubería, el agua sale a tubo lleno sin aumentar dicha velocidad.
- ✓ Ruidos subterráneos de accesorios y piezas especiales.- generalmente la fuga se localiza donde el sonido es más intenso, pero bajo algunas condiciones esta afirmación cambia, por ejemplo: cambios de dirección del tubo, tubería doblada, codos, té, reducciones, etc., estas condiciones amplifican el sonido y esto puede confundirse con una fuga.
- ✓ Profundidad de la tubería.- El espesor de la capa de terreno que cubre la tubería hace variar la intensidad del sonido, por lo que se recomienda contar con los planos actualizados de toda la red, reportes, etc., para identificar estas condiciones y se pueda precisar más rápidamente el sitio de la fuga.

Existen equipos comerciales para la detección de fugas por sonido en tuberías enterradas, que pueden clasificarse en Directos e Indirectos. Los primeros captan el sonido que viaja a través de la tubería, normalmente son los correladores. Los segundos detectan los sonidos que se transmiten por medio del suelo, por lo que no requieren ningún contacto con elementos de la

red de distribución, fundamentalmente que tiene un bastón con campana y audífonos.

CLASIFICACIÓN DEL EQUIPO	MECÁNICO	ELECTRÓNICO DIRECTO	ELECTRÓNICO INDIRECTO
NOMBRE DEL EQUIPO	Varilla de sondeo Acuáfono Geófono	Acua-scope Acua-phon Son-I-kit Metrotech 2000L Metrotech HL2000 Fisher XLT20	Microcorr estándar Micocorr supersystem FCS L-100 FCS C-2000 Metravib Aquacorr

Cuadro 2. Clasificación de algunos equipos detectores de fugas.

#### d) Por presión diferencial

La existencia y posición de una fuga puede determinarse midiendo la presión a lo largo del conducto que se está inspeccionando, para establecer con estos valores una gráfica de gradiente. La existencia de una fuga se verifica cuando el gradiente de presión muestra una discontinuidad o cambio hacia ambos lados de la fuga.

Para medir la presión en tuberías generalmente se utilizan manómetros comerciales, o bien pueden utilizarse manómetros diferenciales con un líquido adecuado. Dada la importancia de lograr una medición confiable de

las presiones en tomas domiciliarias para detectar fugas, es necesario considerar lo siguiente:

- La presión debe medirse en el punto más cercano a la línea principal de la red de distribución, el cual generalmente es en el cuadro donde se instala el medidor domiciliario.
- Debe verificarse que no haya flujo a través de la toma hacia dentro del domicilio, lo cual se puede lograr si se desconecta el medidor, para instalar el manómetro.
- En el caso de que existan presiones menores a  $0.5 \text{ kg/cm}^2$  se recomienda el uso de un manómetro en “U” abierto utilizando mercurio como líquido manométrico. Para presiones mayores se puede utilizar un manómetro de Bourdon con una escala adecuada ( $0.4$  o  $0.7 \text{ kg/cm}^2$ ). Si no se sabe el rango de presiones existente, primero se deberá utilizar el de mayor escala.
- Las mediciones de la presión se realizan en la toma seleccionada y en las adyacentes, o bien, en una adyacente y una de enfrente. Se debe revisar antes que dichas tomas estén conectadas a la misma línea, ya que podrían estar conectadas a líneas diferentes en la misma calle. Dichas mediciones deberán hacerse en un periodo de tiempo no mayor a 30 minutos.

- Al medir la presión, se debe verificar que el punto de medición se encuentre a la misma altura en todas las tomas respecto a un plano de referencia, el cual puede ser el nivel de la acera; o bien, hacer el ajuste correspondiente al comparar las presiones medidas registrando el desnivel entre ellas midiendo con un clisímetro o con un nivel de mano.
- El operador que realice las mediciones deberá ser uno solo en cada cuadrilla, para evitar que existan errores de apreciación en las lecturas, y utilizar un sólo manómetro, revisando que no exista fuga en sus conexiones.
- Si la caída de presión en la toma inspeccionada es de 10% respecto a las adyacentes o mayor, entonces existe probabilidad de fuga.

#### **e) Con trazadores**

La técnica con trazadores consiste en introducir a un tramo de la tubería una sustancia denominada trazador (que es inocua, inodora, sin sabor y fácilmente detectable en pequeñas cantidades); por ejemplo óxido nítrico. Una vez que todo el tramo contiene trazador, se presuriza a 5 kg/cm<sup>2</sup>. Cuando el agua que contiene el trazador se fuga de la tubería, regresa a la presión atmosférica y se separa de la solución. Entonces se efectúan huecos de sondeo a lo largo del tramo y se muestrea el aire dentro de los mismos con un analizador. En el hueco donde se detecte el trazador se localizará la fuga de agua.

## PROCEDIMIENTO PARA LOCALIZAR FUGAS

La localización de fugas es un proceso de ubicación del lugar exacto donde se encuentra la fuga y su evaluación. El objetivo es eliminar los puntos de contacto donde los sonidos de la fuga no son fuertes y descubrir los puntos de contacto donde las fugas pueden oírse.

### ✓ Antes de la búsqueda

Antes de conducir la búsqueda de la fuga, es necesario revisar las especificaciones del sistema de distribución, incluyendo las siguientes:

- Resultados de la auditoría del agua: ¿cuánta agua se está perdiendo en el sistema?
- Tuberías y servicios: tipos, edades, diámetros, materiales, historial de fallas y presiones de operación.
- Suministro: horario y zonificación de tandeos.
- Medidores: tipos, tamaños y frecuencia de medición.
- Válvulas: localización y estado.
- Planos de la red: ¿qué información tienen y que grado de confiabilidad y actualización presentan?.
- Pavimentos: ¿qué tipo de carpeta existe en la zona?

### ✓ Planeación de la localización de fugas

Una vez realizado la anterior, se prepara un programa de localización, que considere:

- ¿Que tipo de problemas de ruido existen dentro del sistema?
- ¿Qué efectos causa el tráfico de vehículos?
- ¿Qué tipo de protección se requiere para las cuadrillas?
- ¿Cuándo es más efectiva la localización: en el día o la noche?
- ¿Cómo se organizarán las cuadrillas de trabajadores?
- ¿Cuáles son las mejores rutas de la búsqueda?
- ¿Cómo se sincronizará la localización con la reparación de las fugas?
- Una vez analizado lo anterior, se procede a la elaboración del plan de localización de fugas

✓ Procedimientos de la localización de fugas

Los trabajos de campo se enlistan en los incisos siguientes:

- Inspección inicial.- Escuchar los sonidos sobre todos los puntos de contactos con la red de distribución.
- Verificar los sonidos.- Regresar a cada punto, donde se escucharon sonidos, para puntualizarlos.
- Localizar fugas.- Determinar si el sonido es debido a fuga, uso de agua o algún otro ruido, y localizar el punto exacto de la fuga.
- Medir y estimar el volumen de agua perdido en las fugas descubiertas.



## CAPÍTULO CUARTO

### REHABILITACIÓN DE REDES DE AGUA POTABLE

#### 4.1 Problemática actual

Uno de los principales problemas que se presentan en el sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de México son las pérdidas de agua por fugas; éstas se ubican a lo largo de la red de distribución.

El Distrito Federal cuenta con una infraestructura hidráulica de poco más de 12 mil kilómetros de red secundaria de agua potable. La mayor parte de esta red se encuentra en estado no satisfactorio, debido tanto a su antigüedad, como a las condiciones de terreno y a la alta sismicidad de la ciudad de México. A lo anterior se une el deficiente mantenimiento que históricamente se le ha proporcionado a esta infraestructura.

Al Distrito Federal se le suministra, en promedio anual, un gasto de 35 m<sup>3</sup>/s. Del gasto anterior, 10.22 m<sup>3</sup>/s provienen del Sistema Cutzamala y llegan al valle de México después de recorrer 127 kilómetros y salvar un desnivel de 1,200 metros. Otros 2.79 m<sup>3</sup>/s son aportados por los Sistemas Chalmita, Risco y Caldera, el resto del gasto lo recibe de fuentes propias, esto es, del Sistema Lerma 4.26 m<sup>3</sup>/s y 17.83 m<sup>3</sup>/s son aportados por el acuífero del Valle de México.

Se estima que a finales del año 2000, aproximadamente el 32% del agua que recibe el Distrito Federal se pierde por fugas, de las cuales del orden del 80% ocurre en las tomas domiciliarias. Este índice de pérdidas representa un caudal cercano a los 11 m<sup>3</sup>/s, suficiente para cubrir las necesidades de alrededor de 3.5 millones de habitantes.

Lo anterior es a consecuencia de que en promedio las redes tienen más de 50 años de antigüedad, sumándose a factores tales como instalación deficiente, el carácter agresivo o incrustante del agua, la elección de materiales inadecuados o de mala calidad y a la naturaleza particular del suelo (sismicidad, elasticidad de las arcillas, corrosividad y agresividad), lo que hace que se requiera en forma periódica, la realización de reparaciones puntuales de fugas así como la rehabilitación y/o sustitución total de tramos de tubería.

Por otra parte, cuando se realiza este tipo de trabajos en avenidas y calles transitadas utilizando los métodos tradicionales de reparación que requieren la ruptura de pavimentos y la excavación de zanjas continuas, generalmente se ocasionan serios trastornos en el tráfico peatonal y vehicular, causando embotellamientos; lo que contribuye notablemente a aumentar la contaminación atmosférica; así mismo, la repavimentación de las partes afectadas en la mayoría de las veces no se realiza en forma inmediata, lo que prolonga estos trastornos; además de los problemas que se causan al usuario, como el corte del servicio mientras se realizan estos trabajos.

A fin de evitar este tipo de problemas y agilizar los trabajos, es necesario buscar nuevas alternativas para la rehabilitación de tuberías en la red de

---

---

abastecimiento de agua potable, por lo que para la aplicación de estas tecnologías y evaluar su eficiencia, es importante identificar la problemática prevaleciente.

#### **4.2 Reparación de fugas en tomas domiciliarias**

La reparación de fugas puede llevarse a cabo de dos formas: mediante la rehabilitación del elemento dañado observando las especificaciones de instalación y materiales, o mediante la sustitución del elemento. La decisión de reemplazar o reparar las tuberías o componentes del sistema, se basa en considerar factores como: presiones en la red, tipo de terreno, vida útil de la tubería, tipo y calidad del material, diseño inadecuado, el factor de rugosidad de la tubería, operación de la red y los programas de mantenimiento. Los registros históricos de fugas son parte importante en la toma de decisiones.

Las técnicas de reparación dependen de las condiciones que presente el lugar donde se tiene la fuga, si se trabaja en seco o mojado, posibilidades de integrar equipos y dispositivos en la reparación, si hay que remover pavimentos y traslado de personal.

Los materiales de una toma domiciliaria están sujetos a un desgaste natural, que varía en proporción directa de factores, como:

- a) Características y calidad propias del material.
- b) Condiciones de operación.
- c) Tipo de terreno.

Debe tenerse especial cuidado con la selección adecuada de materiales, verificar su calidad y contar con mano de obra capacitada.

- Trabajos en el ramal. En caso de que el daño sea en la tubería de cobre, las uniones del tramo añadido se realizan mediante la tuerca unión. Para polietileno se utiliza el cople de reparación. Cuando se requiere sustituir el ramal, es posible utilizar la técnica de perforación direccional que se menciona adelante.
- Trabajos en el cuadro. En todos los casos de rehabilitación, debe emplearse el mismo material del que está formado el cuadro, teniendo en cuenta las observaciones de corrosión.

Observaciones sobre corrosión. Cuando se instala una combinación de tuberías metálicas se produce corrosión, debido a que se forma un par galvánico, sirviendo el agua como electrolito, propiciando que el material menos noble tienda a disolverse.

A continuación se resume la resistencia a la corrosión de algunos materiales utilizados en tomas domiciliarias.

- a) Cobre. Buena resistencia a la corrosión: sujeto a los ataques corrosivos por cloro, oxígeno disuelto y bajo PH.
- b) Fierro Fundido. Puede estar sujeto a corrosión en aguas de bajo PH.
- c) Fierro Galvanizado. Sujeto a corrosión galvánica en contacto con cobre o plomo.
- d) Plástico. Normalmente resistente a la corrosión.

Para terrenos con relleno sanitario, salinos o con alta humedad (lodos, charcos), se recomienda utilizar polietileno de alta densidad y evitar el metal. Respecto a las abrazaderas de fierro fundido en suelos agresivos, es necesario protegerlas con recubrimientos epóxicos anticorrosivos.

### **Sustitución de ramales de tomas domiciliarias**

La técnica de sustitución de tomas domiciliarias que se describe adelante, tiene las características siguientes:

- a) Permite aumentar el rendimiento por cuadrilla.
- b) Se puede introducir tubería flexible, sin necesidad de excavar a todo lo largo del tramo por reemplazar y sin necesidad de interrumpir el tránsito vehicular.
- c) La sustitución puede realizarse en suelos cohesivos o no cohesivos.
- d) Permite reducir los tiempos de sustitución de 8 a 2 hrs aproximadamente.
- e) Si se desconoce con precisión el lugar de la tubería de conducción donde se encuentra la inserción de la toma por reemplazar, se recomienda se auxilie de aparatos de localización de tuberías metálicas y no metálicas, según sea el caso, y se excave paralelamente a la línea de conducción para tener la mayor probabilidad de encontrar la inserción.
- f) Si la instalación de la toma domiciliaria se encuentra superficialmente, no se recomienda el uso de esta técnica.

Con esta nueva técnica es posible implementar un programa masivo de sustitución de tomas domiciliarias, con un abatimiento de costos y tiempo de reparación considerables.

## Perforación direccional

Si las condiciones del terreno y de servicios que existan en el sitio lo permiten, los trabajos se ejecutarán mediante el empleo de equipos neumáticos de perforación direccional (topos). Esta tecnología consiste en un equipo de percusión que es impulsado por un compresor, que le imprime una fuerza de tracción tal que permite su introducción y desplazamiento a través del subsuelo. La introducción del topo al subsuelo hace necesaria la excavación de dos ventanas, una de introducción y la otra de recepción.

A través del espacio dejado por el topo se introduce la nueva tubería, que es conectada a la unión del cabezal de la barra con el cable de la fuente de poder, una vez que ha llegado a la ventana de recepción, posteriormente se jala dicho cable en sentido inverso hasta llegar al punto de partida, dejando a su paso la nueva tubería. Este proceso constructivo permite disminuir, además de las constantes molestias a los usuarios por el cierre de calles, los volúmenes de excavación, relleno y asfaltado, lo que repercute en menores costos y una reanudación más pronta del servicio.

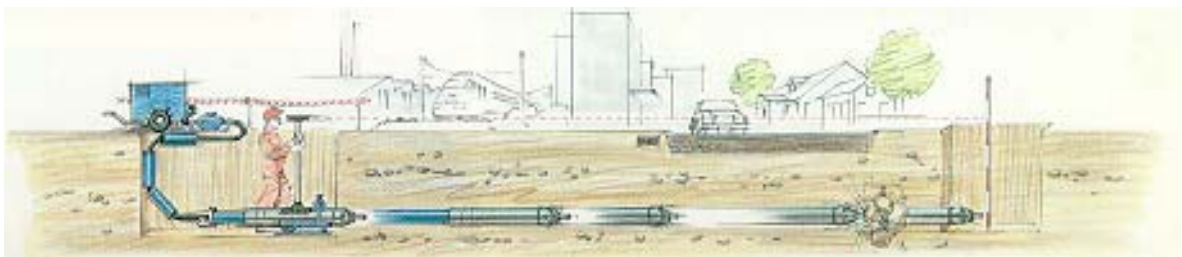


Fig. 1.- Perforación direccional (desplazamiento a través del subsuelo)

### **4.3 Rehabilitación de la red secundaria**

El contar con tecnologías alternas para la rehabilitación o renovación de tuberías, que reduzcan los tiempos de ejecución y los problemas causados al tránsito vehicular y peatonal; reducirá considerablemente los costos; se mejorará la imagen y se incrementarán los niveles de servicio de agua potable. Así mismo, al reducirse las fugas, se podrá disponer de un mayor caudal para beneficiar a más población.

De acuerdo a las condiciones en que opera la red hidráulica de la ciudad de México (tráfico vehicular, tipo de material de la tubería, caudales y tipo de suelo), se determinará la metodología a emplear en la rehabilitación de las tuberías.

#### **Nuevas tecnologías asociadas.**

Cabe mencionar que para realizar un diagnóstico del funcionamiento y de los requerimientos de rehabilitación de las tuberías, es necesario realizar estudios previos, tales como:

- ◆ Grabación en video del interior de las tuberías para conocer el estado de degradación física y estructural; este proceso se realiza ocasionalmente.
- ◆ Uso de correlacionadores, que son aparatos electrónicos que a través del sonido son capaces de detectar fugas en conducciones a presión.

### a) Limpieza de las tuberías

La limpieza de las tuberías puede ser considerada como un modo económico de rehabilitación cuando sirve para eliminar las incrustaciones o azolves formados con el tiempo. Entre los principales métodos de limpieza de tuberías se pueden encontrar la limpieza mediante la introducción de una mezcla de aire – agua a presión; el empleo de productos químicos desincrustantes y la limpieza mediante rascadores mecánicos; a continuación se describe esta última, la cual sólo se menciona para conocimiento ya que su ejecución es poco práctica en redes en servicio:

#### ◆ Limpieza mediante rascadores mecánicos.

Este procedimiento utiliza aparatos mecánicos, cuyo principio consiste en introducir en la tubería un instrumento rascador de acero. Este instrumento es puesto en rotación y empujado por una barra de acero. Al paso del aparato, las partículas son desprendidas, trituradas y luego evacuadas por una corriente de agua.

### b) Revestimiento de las tuberías

Los revestimientos no estructurales no proporcionan una protección contra la corrosión externa, ni tampoco son exitosos en la reducción de los niveles de fugas, por lo que deben ser usados donde los tubos son estructuralmente fuertes y, en consecuencia donde los niveles de fugas son bajos, pero donde la corrosión interna está creando problemas de presión inadecuada ó una baja calidad del agua en el servicio del cliente.



- Revestimiento con mortero - cemento

Un método efectivo para la rehabilitación interna de las tuberías de una red de distribución de agua es el revestimiento con mortero de cemento, provee de una protección interna duradera. Para su aplicación en primera instancia, hay que considerar el tiempo de reparación, al grado de hacer líneas de abastecimiento provisionales para las viviendas. El largo de los tramos de rehabilitación depende del calibre de los codos, como regla pueden tomarse tramos de 80 a 120 metros y en el caso de diámetros mayores y condiciones favorables, tramos de hasta 350 metros de largo.

Antes de aplicar el mortero hay que limpiar muy bien las tuberías. A continuación se introducen los aparatos del revestimiento del mortero dentro de las tuberías. Para diámetros de 80 a 300 mm ha resultado ser útil el llamado procedimiento de expulsión. En el caso de diámetros mayores se arroja el mortero de cemento con una cabeza arrojadora giratoria contra la pared interior de la tubería y se aplasta con unos elementos cónicos. Se pueden utilizar diferentes aparatos, según distintas patentes y fabricantes.

El proceso de renovación o de saneamiento, mediante el revestimiento con mortero de cemento, se efectúa cuando el agua que penetra hasta la pared del tubo disuelve el óxido de calcio, contenido en el cemento y formando una zona protectora alcalina contra la corrosión, además de eliminar cierta falta de impermeabilidad en tuberías y conexiones, la capacidad hidráulica de conducción se reduce en diámetros pequeños entre un 10 y un 20% y en tuberías de diámetros mayores se mantiene a pesar de la reducción de la sección transversal. Esta técnica de saneamiento o de renovación es útil para

combatir la corrosión e incrustaciones en la tubería, pero el tiempo de saneamiento mediante esta técnica es corto.

- Recubrimientos con resinas epóxicas

Otro método es el recubrimiento con plásticos; se utilizan resinas epóxicas (plásticos de dos componentes) para tuberías de 80 a 300 mm de diámetro. Su aplicación es análoga al procedimiento de expulsión con mortero de cemento. La unión entre la capa de plástico y la tubería, la presencia de burbujas y fisuras que provocan una oxidación y un desprendimiento de la capa, se superan debido a que en la actualidad se trabaja con plásticos de elevada elasticidad, con capas de 3 a 5 mm de espesor, esta técnica es recomendable para tuberías con incrustaciones y para el sellado de conexiones tubulares viejas.

Para aplicar el recubrimiento se utilizan tubos de plástico de polietileno duro y polipropileno, que mediante cordones se introducen a la tubería. Otro método utilizado en esta técnica, consiste en introducir a la tubería una manguera flexible; la manguera se cubre con una película adicional de poliuretano con un espesor de 3 a 20 mm. Antes de introducir la manguera, se impregna con poliéster, se hace una campana en el extremo inferior y se mete mediante un tubo de inversión, el material se aplica con la presión del agua dentro y se comprime contra la pared de la tubería. Para el endurecimiento de la tubería se introduce agua con temperatura de 70 a 80 °C. Una vez que fragua la resina, se desinfla la manguera y se saca.

- Recubrimientos blandos

Encamisado o Revestimiento mediante membranas.

Este método consiste en desenrollar dentro de la tubería una camisa plástica que es puesta en contacto con la pared interior de la tubería a fin de asegurar la hermeticidad. La limpieza previa de la tubería es importante, esta puede realizarse mediante varias técnicas, dependiendo de las condiciones de campo. Las derivaciones o tomas vuelven a ponerse en servicio, mediante el corte del revestimiento. Dicho corte puede realizarse con un robot teledirigido bajo control de video.

- ✓ Proceso Insituform
- ✓ Proceso Phoenix
- ✓ Proceso Palmen

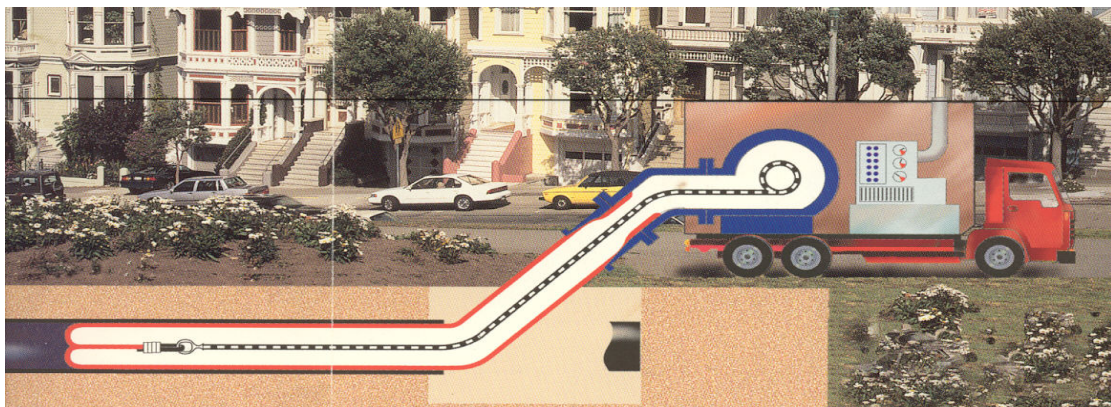


Fig. 2.- rehabilitación de tubería por proceso Phoenix

#### **4.4 Tecnología y metodología factible de aplicar en el reemplazo de tuberías de agua potable**

El criterio para reemplazo o rehabilitación debe considerar lo siguiente:

- ✓ Estadística de daños
- ✓ Estudios de corrosión
- ✓ Experiencia en la reparación de daños
- ✓ Funcionamiento hidráulico de la red

Una sustitución es justificada cuando, se tienen:

- Alta frecuencia de daños
- Corrosión externa en las tuberías, tomas y piezas especiales
- Costos elevados de reparación de los daños y costos excesivos de mantenimiento
- Daños severos en la red principal
- Altas pérdidas de agua
- Reducción del área hidráulica
- Grandes pérdidas de presión
- Mala calidad del agua, con alto grado de incrustaciones.

Entre las técnicas de sustitución encontramos las siguientes:

- Método hidros de extracción hidráulica
- Método de extracción mecánica

- Inserción de tuberías

### **Nuevas tecnologías de renovación de tuberías.**

Existen muchas técnicas de renovación de tuberías sin zanjeo utilizadas en todo el mundo por los sistemas de agua. En este caso particular, dadas las características del sistema a rehabilitar y la necesidad de reparar tuberías con demasiadas fugas; se proponen dos técnicas; renovación de tuberías por Introdoslizamiento y por Reventamiento. Estas mismas son aplicables también a las tuberías de drenaje.

- ◆ Introdoslizamiento de tuberías.

Cuando la mayor parte de una tubería presenta problemas tales como fugas, filtraciones, derrumbes o deterioro de las paredes; ya no es recuperable desde el punto de vista estructural y por lo tanto es conveniente introducir en la tubería dañada, otra de polietileno de alta o mediana densidad.

Previamente a la sustitución, se realiza ocasionalmente, una videograbación de las tuberías. Esto se hace con el fin de ayudar a la localización de conexiones de servicio y de los puntos de deterioro estructural, por lo general, en estos lugares se requiere realizar excavaciones (ventanas). Además, antes de introducir la nueva tubería, es necesario limpiar hidráulicamente el interior de la tubería antigua para evitar daños al tubo de polietileno y permitir un mejor deslizamiento.

La tubería de polietileno se inserta desde una fosa (pozos de 1.5 x 3.0 y 1.5 m de profundidad) y es jalada mediante un equipo motorizado. Para realizar el introdeslizamiento la pendiente de entrada debe ser 2:1 o menor. La tubería existente es demolida para facilitar la inserción, a razón de 30 centímetros por cada pulgada de diámetro nominal de la tubería a insertar. La tubería es unida al mecanismo de tensión mediante un cabezal atornillable. Una vez colocada la tubería nueva se procede a hacer la conexión de derivaciones y tomas domiciliarias.

El material que se emplea cuenta con un factor de rugosidad menor, que se traduce en menos pérdidas de carga por fricción, considerando que en la Ciudad de México la red secundaria está fabricada en mas del 80% de material de asbesto cemento.

Uno de los beneficios obtenidos al emplear la tubería de polietileno de alta o mediana densidad, es la notable reducción de las pérdidas por fricción. Por esta razón, al deslizar una tubería de menor diámetro hecha con PEAD, en otra de asbesto cemento, la reducción del área es compensada con la reducción de pérdidas de carga por fricción.

Estos trabajos se realizan en tuberías de diámetros de 3" hasta 20".

◆ Reventamiento de tuberías.

Cuando se desea colocar una tubería de igual o mayor diámetro, aprovechando una instalación existente de agua potable, se revienta la tubería en uso, empleando un equipo de tracción. Simultáneamente se introduce una nueva línea de polietileno de alta o de media densidad.

El sistema hidráulico de rompimiento de tubería consiste de un equipo hidroneumático con una fuerza de tracción de 35 ton. proporcionada por un compresor que permite introducir dentro de la tubería existente barras de acero de aproximadamente un metro de longitud, en tramos que van de calle a calle. El procedimiento a seguir se indica a continuación:

- a) Se excavan las ventanas de introducción y recepción de las barras guía.
- b) Se instala la unidad de impulso hidráulico que permite empujar y jalar a las barras.
- c) Se introducen las barras a través de la tubería existente hasta llegar al extremo final del tramo por reemplazar.
- d) En el extremo final se le coloca a la barra guía los ampliadores de ruptura y las navajas cortadoras, así como la nueva tubería.

- e) Finalmente, la unidad de impulso inicia el retroceso de las barras, donde además de romper la tubería y expandirla para ampliar el espacio, jala la nueva tubería a través del espacio abierto.

El procedimiento descrito permite, reemplazar una longitud aproximada de hasta 100 mts en una jornada de trabajo, teniendo con anticipación listas las excavaciones de inicio y fin de tramo y la termofusión de los tramos de tubería. Lo anterior reduce considerablemente los tiempos de suspensión del servicio a los usuarios, las molestias al tránsito peatonal y vehicular, así como los costos de operación. En promedio la sustitución de tubería se lleva a cabo de cruceo a cruceo en una jornada de trabajo de ocho horas, esto es, una distancia aproximadamente de 100 metros.

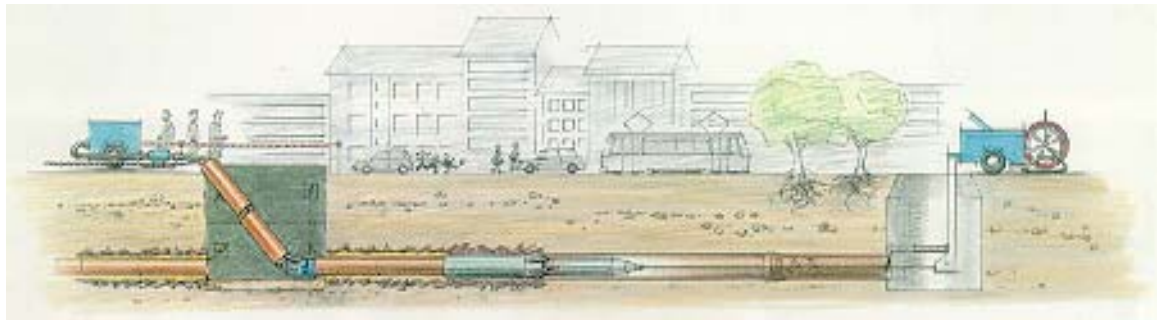


Fig. 3.- Sustitución de tubería por rompimiento de la existente



◆ Sistema de perforación dirigible

Todos los sistemas dirigibles permiten evitar los obstáculos posibles en la tierra o realizar perforaciones curvadas. Una sonda integrada en la cabeza de la máquina emite una señal obtenida en la superficie por medio de un receptor, que da la información sobre la dirección y profundidad de la cabeza. La constante rotación del tren de varillas y de la cabeza de perforación permiten efectuar perforaciones en línea recta, mientras que el empuje hidráulico estático de la cabeza biselada permite dirigir la cabeza de perforación en una nueva dirección.

Se cuenta en el mercado con tres distintas versiones, de 6.5, 9.5 y 12 toneladas de fuerza de empuje y tiro respectivamente y pueden ser accionados desde una fuente de energía o desde la toma hidráulica de un camión. Estos sistemas van montados sobre una base con orugas que facilita su correcta colocación en el terreno de obra.

Su diseño y construcción robusta lo hacen ideal para perforaciones bajo ríos, canales, carreteras, terraplenes de ferrocarril y caminos. Dependiendo del tipo de equipo de detección utilizado se pueden llevar a cabo perforaciones de hasta 10 metros de profundidad. Este equipo es un producto único en la industria gracias a su combinación de empuje hidráulico, mezcla de bentonita y su acción de martillo de percusión, todo en una misma unidad.



Fig. 4.- Instalación de tubería por medio de perforación direccional

### **Los materiales empleados: Tubería de polietileno**

Uno de los elementos más importantes en la rehabilitación de las redes de agua potable mediante el empleo de tecnología de punta, lo es la tubería, y ésta debe ser de polietileno de alta densidad y alto peso molecular (PEAD resina 3408). El desarrollo de los procesos de fabricación de la tubería de polietileno ha cobrado gran importancia ya que sus propiedades la sitúan como una tubería muy versátil en su manejo y operatividad. Además de ser más económica y funcional, no requiere de mantenimiento y se instala con mayor rapidez.

Las ventajas de las tuberías de polietileno son: su gran flexibilidad, que permite su presentación en rollos; su ligereza, ya que su peso es ocho veces menor que el del acero y tres veces menor que el del asbesto – cemento, y no presenta problemas de corrosión.

El polietileno es un derivado del gas etileno, que es un componente del gas natural; también puede ser derivado de la refinación del petróleo. Se tienen comercialmente tres tipos: de densidad baja, media y alta.

La red deberá ser construida con tuberías de polietileno de alta densidad, cuya materia prima deberá cumplir con las siguientes características:

- Alto peso molecular que permita su fusión a base de calor controlado.
- Debe estar clasificada como tipo III, por el Instituto de Tuberías Plásticas con Celda de Clasificación PE 345434-C (PE 3408).
- Cumple con la Norma Oficial Mexicana NMX-E18-1996 (PE 3456) para tubos de polietileno para conducción de fluidos a presión.
- Rango de densidad de 0.941 a 0.965 gr/cm<sup>3</sup>.
- Índice de fusión < 0.15 gr/10 min.
- Módulo de flexibilidad de 7,735 – 11,250 kg/cm<sup>2</sup>.
- Resistencia en la tensión de 210 – 246 kg/cm<sup>2</sup>.
- Resistencia al agrietamiento por intemperismo  $F_{20} > 192$  horas.
- Esfuerzo hidrostático aplicado para el diseño de presiones de trabajo y de reventamiento de 112 kg/cm<sup>2</sup>.
- Color y estabilizador ultravioleta > 2% negro de humo.
- Capaz de resistir el ataque biológico de los agentes inorgánicos y orgánicos existentes en el subsuelo.
- Capaz de resistir por tiempo prolongado a la intemperie sin sufrir degradaciones en sus superficies.
- Vida útil de 50 años.

El polietileno de alta densidad que se especifica debe tener una elevada tensión de tracción, aumento de rigidez, alta dureza superficial, resistencia química sobresaliente y resistencia al ablandamiento y distorsión bajo servicio a presión de 140° F, o servicio de flujo por gravedad hasta 180° F.

La unión entre tramos de tubería de polietileno deberá realizarse a tope por termofusión con medios mecánicos, calentando simultáneamente ambos extremos de la tubería a una temperatura tal que se alcance el grado de fusión necesario, aplicando una presión controlada entre ambos extremos. La unión deberá generar un tramo continuo monolítico, que garantice una hermeticidad del 100%.

El equipo mecánico para la termofusión consta básicamente de carro alineador, escuadrador universal y calentador eléctrico.

Adicional al sistema de unión por termofusión, existe el de electrofusión, en el cual se emplean accesorios (coples y silletas) que contienen resistencias eléctricas, que permiten la fundición del polietileno y la posterior fusión con el elemento a unir.

## **COSTOS DE INSTALACIÓN DE REDES A TRAVÉS DE TECNOLOGÍA DE INTRODESLIZAMIENTO**

La instalación de tubería de polietileno a través del empleo de tecnología de introdeslizamiento, ayuda a conservar y proteger el medio ambiente (evita daños a plantas y árboles que podrían disminuir el oxígeno ambiental y daños estéticos; daños a la flora zonal), brinda un número significativo de ventajas a los miembros de la comunidad residencial y urbana comparándolos con el impacto de los trabajos de zanja a cielo abierto. Se disminuyen: (1) los tiempos de construcción e instalación de servicios públicos; (2) las interrupciones de servicio (menos remoción y reemplazo de suelos y rellenos); (3) los riesgos de daños a otros servicios (se evitan

indemnizaciones por daños y perjuicios a otras redes); (4) molestias a los vecinos; (5) contaminación ambiental; (6) daños a transeúntes (existen muchos accidentes por zanjas abiertas que culminan en cuantiosas indemnizaciones en tribunales; (7) movimientos de suelos; (8) obstrucción del tránsito; (9) daños por desvíos de tránsito a rutas, no previstos; (10) pérdidas de producción de comercios e industrias; (11) ruido.

Según un informe del Laboratorio de Investigaciones del Transporte en el Reino Unido que apuntaba al potencial de reducir los costos indirectos y sociales resultantes de la instalación de servicios públicos subterráneos, fueron identificadas tres categorías:

- ✓ Costos directos, cubriendo planificación, diseño, supervisión, construcción y la diversificación de servicios existentes. Estos son absorbidos por la compañía de servicios.
- ✓ Costos indirectos, cubren pagos de compensación, reducción de la vida útil del pavimento vial y el mantenimiento cada vez mayor de la calle, Estos costos son en su mayoría abonados por la compañía de servicios.
- ✓ Costos sociales, cubren las interrupciones y demoras a ambos tránsitos, comercial y privado, pérdida de la tranquilidad y el impacto medio ambiental, tales como los ruidos, la contaminación, etc. Estos costos son pagados por el público en general.

Algunos rubros del costo social son difíciles de cuantificar, pero está claro que - por mucho - el mayor componente del costo está relacionado con las

---

---

demoras e interrupciones del tránsito. Para entender completamente los beneficios de esta tecnología, se deben conocer los costos indirectos.

Los costos indirectos o costos sociales han sido definidos como: Todos los costos reales y virtuales hechos debido a la ejecución de un proyecto, que no pueden ser incluidos en el costo del proyecto pero que son pasados a la sociedad: Tránsito, Medio Ambiente, Comercio e Industria, Ciudadanos y Sociedad.

Los costos de Proyecto han sido definidos como: El total de todos los costos que son base de la inversión en un proyecto dado.

Las técnicas para la instalación y renovación de redes de servicio con una excavación y restauración reducidas, han estado disponibles desde hace muchos años. Sin embargo con la expansión de los topos no dirigidos a principios de los '80, se reconocieron los beneficios de estas tecnologías. El auge de esta tecnología se incrementó durante los '80 con la introducción y expansión de las máquinas dirigidas, la microtunelería y las técnicas de revestimiento de tuberías. Estas técnicas fueron posibles por el desarrollo continuo de los sistemas de redes de polietileno, que son muy flexibles y capaces de soportar presiones relativamente altas.

La fuerza que impulsó este incremento fue el alto costo de la excavación y de la restauración. Posteriormente, se ha reconocido la necesidad de considerar como costo escondido la interrupción para los usuarios de calles, carreteras, etc. Con la introducción en el mercado de máquinas más nuevas y eficientes,

los costos de instalación han disminuido en comparación con los métodos de zanjas abiertas.

En la Ciudad de México, donde actualmente se lleva a cabo de una manera importante la renovación de las redes de servicio de agua potable, se ha observado que los costos directos de colocación de tubería, a través del empleo de tecnología de introtodeslizamiento, se han reducido hasta en un 30% con respecto a la instalación de redes a través de zanjas abiertas.

#### **4.5 Breve descripción de las actividades a desarrollar en la planeación de los trabajos de rehabilitación o sustitución de tuberías**

##### **1. La implantación del proyecto se desarrollará en cuatro fases:**

Fase 1. Definición de las zonas problemáticas que requieren la rehabilitación o la renovación de las tuberías.

Fase 2. Evaluación en gabinete de las diferentes tecnologías existentes para la rehabilitación de tuberías minimizando el zanqueo.

Fase 3. Desarrollo del proyecto, que tendrá como metas principales:

- ◆ Evaluación de las metodologías aplicadas. Dentro de este procedimiento se evaluarán tanto los rendimientos reales de esta actividad, como las ventajas y desventajas que presenta la metodología escogida, para posteriormente compararla con los procedimientos tradicionales, a fin de establecerla en forma permanente.

- ◆ Verificación y adecuación de los procedimientos establecidos en el manual correspondiente.

Fase 4. Elaboración de manuales y evaluación de costos.

## **2. Recopilación y análisis de la información.**

- ✓ Establecer el seguimiento adecuado para la obtención de datos e información necesaria para la planeación de la rehabilitación de tuberías.
- ✓ Obtención de datos e información necesaria.
- ✓ Ubicación de las zonas problemáticas que requieren de la rehabilitación o renovación de tuberías.

## **3. Definición en gabinete de las metodologías aplicables.**

- ✓ Descripción detallada de metodologías aplicables.
- ✓ Establecimiento de alcances, mecanismos y metas.
- ✓ Estimación preliminar de costos.

## **4. Determinación de las especificaciones técnicas de los materiales a emplear y los protocolos de prueba, así como aspectos de construcción.**

- ✓ Recopilación de la información
- ✓ Redacción de especificaciones técnicas de materiales, protocolos de prueba y procesos constructivos.

## **5. Control de equipo y materiales. Definir la existencia de materiales, así como de equipos y herramientas, determinar los requerimientos de**



**registro, almacenamiento y prueba, custodia y entrega de materiales, equipo y herramienta.**

- ✓ Definición de tipo y cantidades de materiales necesarios en almacén.
- ✓ Estimación de volúmenes y áreas de almacenamiento.
- ✓ Definición de tipos y cantidades de equipo y herramientas necesarios en almacén.
- ✓ Establecer diagramas de flujo.
- ✓ Elaboración del manual de procedimientos del almacén.

**6. Desarrollo de procedimientos para la supervisión, control de obra y calidad de la misma.**

- ✓ Requerimientos de supervisión
- ✓ Definir procedimientos de supervisión de campo.
- ✓ Definir procedimientos de entrega
- ✓ Desarrollo de normas de control de calidad de los trabajos.
- ✓ Desarrollo estadístico de los trabajos realizados.

**7. Definición de grupos de trabajo y recursos necesarios para la realización de las obras.**

- ✓ Establecer personal requerido.
- ✓ Definición del perfil de puesto para cada tipo de personal
- ✓ Estudio de mercado para integración del tabulador de sueldos.
- ✓ Establecer procedimientos de contratación del personal.

**8. Selección y capacitación de personal.**

- ✓ Elaboración de procedimientos de capacitación de personal.

- ✓ Preparación de material de apoyo.
- ✓ Definición de criterios para la selección de personal.

## **9. Ejecución del proyecto de sustitución de tuberías.**

- ✓ Selección de la zona de trabajo. Identificación de las características de la infraestructura, tipos de materiales existentes, etc.
- ✓ Integración de grupos de trabajo.
- ✓ Ejecución en campo.
- ✓ Evaluación de las ventajas y desventajas de los nuevos procedimientos.

## **4.6 Nuevas tecnologías en instalaciones subterráneas y sus implicaciones en el ámbito de los servicios públicos**

La ejecución de obras en la vía pública expone a las empresas contratistas a diversos riesgos propios de la actividad que desarrollan. Es usual encontrar en los pliegos licitatorios, la obligación de los contratistas de requerir información sobre la ubicación de instalaciones subterráneas de servicios públicos, antes de comenzar los trabajos de excavación a efectos de evitar daños a dichas instalaciones, previendo asimismo el mecanismo para su remoción y/o traslado.

Si el contratista cuenta con dicha información, de existir planos de dichas instalaciones, podrá seguramente tomar las precauciones del caso a efectos de no provocar daños innecesarios. Si no cuenta con los planos o los mismos no son confiables, como sucede comunmente por su desactualización, el

contratista, antes de excavar y a efectos de minimizar el riesgo propio de la obra en ejecución, deberá realizar sondeos que permitan individualizar tuberías o cualquier instalación que se superponga con la obra a ejecutar para no dañarla, al utilizar excavadoras u otros medios mecánicos.

Sin embargo, no siempre se efectúan sondeos previos a efectos de detectar instalaciones subterráneas de servicios, lo que generalmente culmina en la producción de un daño. El tema sin duda no es tan sencillo.

La falta de control sobre la real ubicación de las instalaciones subterráneas de servicios, por falta de actualización de los planos, ha colocado a las empresas constructoras en una difícil situación, toda vez que los planos que suministraban las empresas de servicios, antes bajo el “control” estatal no siempre precisaban la ubicación exacta de dichas instalaciones, y la urgencia por cumplir en tiempo los contratos impedía muchas veces la realización de sondeos previos, lo que derivaba inevitablemente en hechos dañosos.

Ello se ve claramente reflejado en la jurisprudencia casi unánime de los tribunales que han condenado sistemáticamente a las empresas contratistas, y en algunos casos en forma concurrente con las empresas estatales, por los daños ocasionados a instalaciones subterráneas de servicios durante la ejecución de las obras.

Así se han fijado los siguientes principios: La empresa vial no puede desconocer que en el subsuelo de la vía pública existen instalaciones subterráneas, y si cuenta con los planos respectivos, debe extremar la prudencia para evitar la destrucción de instalaciones ajenas. Cuando se

---

---

encaran obras en la vía pública, es menester efectuar sondeos previos, pues se trata de medidas impuestas por el deber de actuar con celo, la prudencia y la previsión que marcan las reglas del arte y máxime por la condición de empresa especializada. Forma parte de estas reglas del arte, realizar movimientos de tierra en zonas urbanas.

Si la empresa no contaba con croquis o planos ni con la asistencia de inspectores no debió comenzar los trabajos o debió hacerlo con el máximo de precauciones. Aún admitiendo que la ubicación de la conexión domiciliaria dañada le resultara desconocida por la ausencia de planos, la empresa debió extremar la prudencia para evitar la destrucción de instalaciones ajenas, obligación tanto más exigible si se atiende a la calidad y habilidad profesional de una empresa constructora.

Aún cuando la dueña de la obra, hubiera eximido a la contratista de realizar los servicios de sondeo, ésta no se encontraba dispensada de efectuarlos, teniendo en cuenta su condición de empresa especializada. Deben responder las empresas contratistas de una obra pública por los daños provocados a instalaciones de servicios a raíz del sistema riesgoso por ellas utilizado para la construcción de un túnel, comenzando las tareas sin contar con los planos de ubicación de dichas instalaciones subterráneas.

La privatización de las empresas públicas y la posterior transferencia de los servicios públicos a las empresas concesionarias o licenciatarias, reactualiza el tema, ya que ahora no será el Estado el que suministrará la información sino las empresas titulares de dichos servicios y éstas, en cumplimiento de

los marcos regulatorios deberán mantener la continuidad y regularidad de los servicios que prestan a los usuarios.

Todo proceso privatizador debe ir acompañado de una readecuación normativa, y en el tema que comentamos, se requerirá sin duda una regulación específica, que contemple los intereses de las empresas contratistas, las empresas concesionarias, y los de la comunidad representada a través de los entes reguladores. Un mecanismo, ya probado en otros países que han pasado por la misma problemática consistiría en la creación de una base de datos con información precisa sobre la ubicación de instalaciones subterráneas, la utilización de sistemas de detección y señalización de instalaciones, y la aplicación de nuevas tecnologías “trenchless”.

Así, en la construcción de servicios la técnica más buscada es la del “topo”, el cual, por su respeto al medio ambiente, su exactitud y su método de trabajo, es el más adecuado para realizar dichas tareas. Carreteras y calles con alta densidad de tráfico, vías de ferrocarril, edificios muy valiosos, jardines, veredas y construcciones muy diversas, obligan cada vez más a trabajar menos a cielo abierto. La búsqueda de economía y reducción de costos se ha orientado a favor del trabajo sin zanjas.

Esto ha llevado a investigar continuamente, a fin de mejorar el método de instalación subterránea de cables y tuberías adecuándolos a las características y tipologías propias de nuestro país. Lo que durante un largo tiempo fue un sueño ahora es una realidad: cohetes subterráneos y perforadoras dirigibles que se dejan controlar y dirigir bajo agua, cruces,

---

---

largas perforaciones, grandes cruces de carretera, avenidas anchas y terraplenes.

La información sobre la situación, inclinación y posición de la superficie del cabezal dirijible es suministrada por un emisor situado dentro de la perforadora –zona electrónica- al receptor operado desde la superficie. Entre las ventajas más sobresalientes de estas nuevas tecnologías se encuentran: a) la aceptación por parte de los Organismos operadores que no verán entorpecido el tránsito ni afectados los pavimentos durante la ejecución de las obras de instalación de cables y/o tuberías; b) la precisión y velocidad en la colocación de cables y tuberías; c) la reducción de costos; d) la conservación del medio ambiente; y e) la notable disminución de molestias que los métodos tradicionales ocasionaban a los vecinos.

La solución que proponemos, de manera muy sintética, permitirá minimizar los riesgos propios de la actividad constructiva, al evitar daños innecesarios, asegurando asimismo la prestación regular de los servicios públicos, al asignarle a cada parte involucrada la responsabilidad que le cabe. Tomar conciencia de ello es el primer paso a efectos de optimizar los recursos de las empresas constructoras y concesionarias de los servicios públicos, evitando sobrecostos innecesarios derivados de contiendas judiciales.

En definitiva, todo ello redundará en beneficio del usuario de dichos servicios que no estará expuesto a los permanentes cortes y/o interrupciones a los que estaba acostumbrado cuando el prestador era el Estado.

## CAPÍTULO QUINTO

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para nuestra Ciudad, un servicio público que determinará su sobrevivencia es el agua, elemento esencial para la vida y el desarrollo de la sociedad, su distribución, aprovechamiento y adecuada retribución por su servicio, constituyen una prioridad para gobernantes y gobernados.

El problema de prestar en forma adecuada, continua, uniforme, regular y permanente el servicio público de agua potable, drenaje y de tratamiento y reúso de aguas residuales en el Distrito Federal, así como realizar las acciones y medidas que aseguren su preservación y debida continuidad, es añejo y de alta prioridad para nuestra Ciudad.

La ubicación de la Ciudad de México, en un valle cerrado a 2,200 metros sobre el nivel del mar, dificulta y encarece el abastecimiento de agua potable y el drenaje de las aguas pluviales y residuales que se generan.

Por su posición geográfica, su orografía y situación climática, la Cuenca vive una paradoja: lucha desesperadamente por conseguir agua y se ve en la necesidad de desalojar rápida y eficientemente las aguas residuales y pluviales, con objeto de evitar inundaciones.

El suministro del agua en bloque para el Distrito Federal es en promedio de 35,000 l/s, lo que implica una dotación por habitante, sin considerar fugas en

la red y para todos los usos, cercana a los 360 litros al día, con un alto nivel de servicio.

Sin embargo, en los últimos años el Distrito Federal ha observado un crecimiento de la mancha urbana que se acentúa en zonas donde se dificulta el suministro y los servicios hidráulicos de agua potable y drenaje. En consecuencia, cada año se presenta un rezago en la construcción de infraestructura hidráulica.

Por la falta de recursos económicos suficientes, el mantenimiento preventivo es escaso, limitándose en ocasiones al mantenimiento correctivo. De acuerdo a lo anterior, una buena parte de la infraestructura hidráulica presenta diverso grado de obsolescencia, y en muchos casos los equipos han rebasado su vida útil, lo que propicia fallas en el mismo.

El hundimiento del subsuelo desde principios del siglo pasado, generado por la sobre explotación del acuífero, provoca ineficiencias en las redes de agua potable y drenaje, generando constantes fugas en las primeras y pérdida de pendiente física en el caso de drenaje.

Estos factores, y el hecho de que la Ciudad de México es una de las más pobladas del mundo, hace que el nuestro sea tal vez el más complejo de los sistemas hidráulicos urbanos del orbe. Su conservación y mantenimiento requiere de una visión integral del problema, estrategias bien definidas y cuantiosas inversiones.



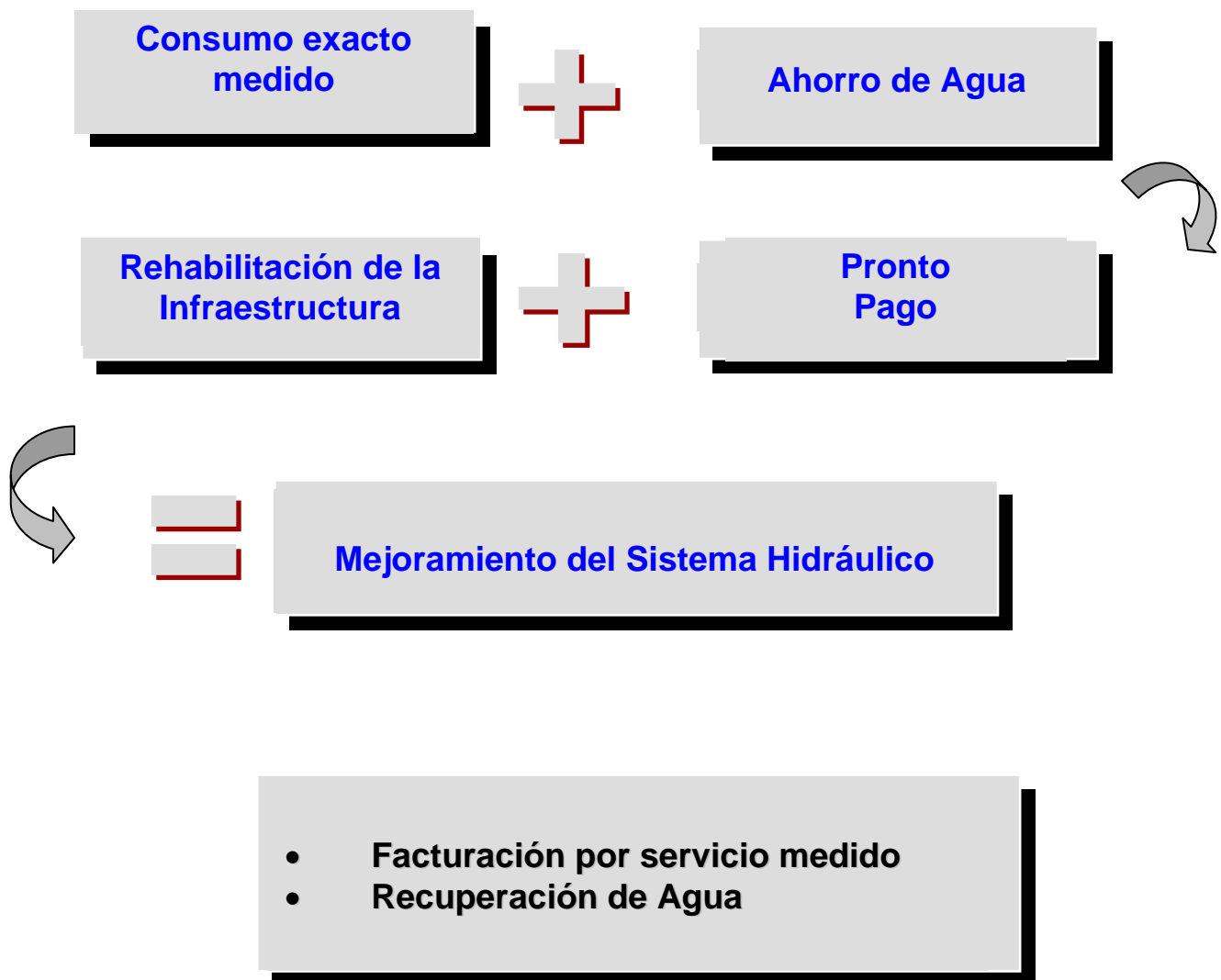
Con objeto de optimizar el servicio público de agua potable, drenaje y de tratamiento y reúso de aguas residuales en el Distrito Federal; tomar las medidas y realizar las acciones que aseguren su preservación y debida continuidad; fomentar una nueva cultura del agua y emprender un vigoroso programa de modernización de la administración del agua, dio principio el proyecto una nueva estrategia de agua para la Ciudad de México.

Tendiente a garantizar el abasto ecológicamente sostenible de agua potable, con base a dos medidas sustanciales que podrían parecer obvias, pero que implican muy serias dificultades en su instrumentación: Implantar universalmente el sistema de cobro por consumo medido y rehabilitar las redes de distribución, sus accesorios e infraestructura complementaria; haciendo partícipes, mediante contrato, a empresas operadoras de la iniciativa privada.

Con estas dos medidas se busca alcanzar el propósito de equilibrar financieramente en esta materia al Gobierno de la Ciudad, obteniendo los fondos necesarios para rehabilitar y mantener con eficacia y economía las redes primarias y secundarias de agua potable y drenaje y sobre todo, garantizar la debida continuidad, la eficiencia del servicio en beneficio de los habitantes del Distrito Federal; adoptar las mejores tecnologías y prácticas disponibles en distribución de agua y rehabilitación de redes e implantar incentivos económicos conducentes a un mayor ahorro del vital líquido.

## 5.1 Logros alcanzados con la ejecución de este programa

### ADMINISTRACIÓN DEL USO DEL AGUA



Dichas acciones fueron divididas en tres etapas:

**Primera Etapa (1994 – 2001):**

<b>ACCIONES</b>	<b>RESULTADOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Censo de usuarios</li> <li>● Regularización de tomas e instalación de medidores</li> <li>● Catastro de las redes Hidráulicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 1,630,000 empadronados</li> <li>● 1,753,000 tomas actualizadas</li> <li>● 1,264,521 medidores instalados</li> <li>● 12,042 kms trazados de la red secundaria de agua potable</li> <li>● 882 kms trazados de la red primaria de agua potable</li> <li>● 10,223 kms trazados de la red secundaria de alcantarillado</li> <li>● 2.040 kms trazados de la red</li> </ul>

**Segunda Etapa (1996 - ):**

<b>ACCIONES</b>	<b>RESULTADOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Lectura de medidores</li> <li>● Facturación y distribución de boletas</li> <li>● Recaudación</li> <li>● Servicio a usuarios</li> <li>● Mantenimiento de medidores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Un nuevo sistema comercial eficiente</li> <li>● 86% de la facturación por servicio medido</li> <li>● 100% de los usuarios empadronados</li> <li>● 24 agencias de servicio</li> <li>● 100% emisión bimestral</li> <li>● Conciencia en la reducción del desperdicio</li> </ul>

### Tercera Etapa (1997 - ):

<b>ACCIONES</b>	<b>RESULTADOS</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Detección y Reparación de Fugas</li><li>• Operación y Mantenimiento de la infraestructura hidráulica</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mejoramiento en la distribución del agua</li><li>• Recuperación de agua no contabilizada</li><li>• Reducción de costos operativos</li></ul>

En 1997 da principio el programa de mantenimiento de la red de agua potable, constituyéndose en una parte fundamental de las acciones ejecutadas, para dar respuesta a las necesidades hídricas de los habitantes del Distrito Federal, y que están encaminadas a disminuir el agua que se pierde en las redes, permitiendo con ello la recuperación de caudales. El agua recuperada resulta ser la más económica puesto que ya se encuentra en las redes y por lo tanto no es necesario traerla de fuentes externas, con la consecuente reducción de costos para la Ciudad.

Como se ha mencionado el Distrito Federal no podrá disponer de suministro adicional de agua de fuentes externas antes del año 2006. Por lo tanto, las únicas alternativas por ahora viables son la recuperación de caudales mediante la detección y eliminación de fugas. Es necesario enfatizar la urgente necesidad de disminuir los consumos a los mínimos indispensables, creando hábitos de ahorro en la población, ya que cada vez resulta más complicado y costoso abastecer a la ciudad de México.

Como resultado de los trabajos ejecutados, después de cinco años en la coordinación de este proyecto, se han alcanzado los siguientes logros:

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
<b>Detección de fugas</b>	<b>Fuga</b>	<b>26,992</b>
<b>Eliminación de fugas en toma domiciliaria</b>	<b>Fuga</b>	<b>45,469</b>
<b>Eliminación de fugas en la red</b>	<b>Fuga</b>	<b>6,073</b>
<b>Sustitución de tomas domiciliarias</b>	<b>Ramal</b>	<b>109,076</b>
<b>Sustitución de Válvulas</b>	<b>Válvula</b>	<b>7,463</b>
<b>Sustitución de la red secundaria de agua potable</b>	<b>Km</b>	<b>873</b>

Independientemente de los beneficios implícitos que la ejecución de estos trabajos representa, hasta mediados de 2002 se estima, con base en índices presentados por el IMTA para eventos independientes, haber recuperado un gasto aproximado a los 2,500 l/s. Por supuesto, lo anterior no representa una reducción en tal magnitud de los porcentajes de fugas, debido a que es posible se presenten un número importante de fugas en otras zonas, sin embargo si un 50% de esta recuperación es real, justifica con creces la inversión realizada.

No obstante estos logros, lo que es económicamente factible de rescatar, es aproximadamente  $6 \text{ m}^3/\text{s}$ , es decir, casi la mitad de lo que se estima se pierde por fugas, debido a que para incrementar la recuperación se requieren inversiones cada vez más elevadas.

Por otro lado, la Ciudad de México presenta un déficit hidráulico de aproximadamente  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ , para cubrirlo se estudian diversas alternativas entre las que se encuentra la ampliación de la cuarta fase del Sistema Cutzamala, que consiste en conducir agua de la cuenca del río Temascaltepec a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

El proyecto de Temascaltepec pretende conducir al valle de México  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  recorriendo una longitud de 175 km desde la fuente de captación hasta el punto de entrada a la ciudad de México, de los cuales  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  serán para el Distrito Federal y  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  para el Estado de México. Hasta la fecha no ha sido posible poner en marcha el proyecto debido a los problemas sociales que han imperado en la zona; a partir de que estos se resuelvan la construcción del sistema durará aproximadamente 3 años, teniendo un costo aproximado de 510 millones de dólares, de los cuales 352 millones de dólares se destinarán a obras de captación, mientras que 158 millones de dólares se usarán en la rehabilitación de diversos componentes del sistema Cutzamala.

## **5.2 Importancia del proyecto como esquema a seguir en varias ciudades del interior del país**

La ciudad de México a sido a través de los tiempos el centro de atención a nivel nacional y en algunos casos a nivel internacional. Es así, que las actividades realizadas en el Distrito Federal se convierten con el paso de los años en una actividad propia del interior del país.

En lo que al sector agua se refiere, esta situación no es la excepción y siempre se está pendiente de lo realizado, con el fin de ponerlo en práctica. Tal es el caso del proyecto de Catastro de Redes que se ha convertido en la base de los tratados de apoyo técnico en la zona fronteriza con el vecino país del norte.

Con base en especificaciones originalmente desarrolladas para el proyecto de la Ciudad de México, se ha llevado a cabo el proyecto de catastro de redes en la mayor parte de las ciudades de la franja fronteriza, con el fin de conocer con precisión el estado que guarda la infraestructura hidráulica. De igual manera, se lleva a cabo el censo de usuarios.

### **5.3 Conclusión final**

El tema del agua potable es sin duda uno de los grandes temas nacionales, sin embargo parece ser algunas veces soslayado y en otras ocasiones motivo de alarma. Quien carece del agua la codicia y quien la tiene, en la mayoría de los casos la desperdicia. Como toda riqueza, su distribución es ingrediente de justicia y la distribución es producto de la administración y operación de los sistemas.

La administración y operación responsable de los sistemas de agua potable son un compromiso de justicia y desarrollo con la población, sobrepasa los meros aspectos técnicos y se encuentra estrechamente ligado al ejercicio de los derechos universales del hombre.

Suponemos que porque nadie muere de sed, o porque la calidad del agua no causa epidemias o porque no nos obligan a pagar los consumos no debemos reclamar nuestros derechos al agua potable y a su saneamiento.

Estos supuestos parecen ser más o menos válidos gracias a un convenenciero letargo de la población, mantener una mediocre conformidad en la calidad de los servicios que permita, al mismo tiempo, evadir o tener que enfrentar el pago justo de los mismos configuran un círculo vicioso que no avizora perdurar por mucho tiempo.

El ejercicio del poder político ha dejado de ser monopolio de un solo partido, éste, como todos los procesos sociales, en un hecho irreversible. La competencia política tendrá que echar mano a la calidad de gobierno y por lo



tanto a la eficiencia en la prestación de los servicios públicos para poder ganar, mantener o recuperar espacios de gobierno.

El agua es suficiente, sí pero ¿a qué costo y cuáles son los índices de recuperación por la prestación del servicio?, los gobiernos por el temor de enfrentar esta situación, de indiscutible costo político, han optado por el endeudamiento de las ciudades. Aquí surge otra consideración, ¿hasta cuándo y hasta cuánto?.

Dilapidamos el recurso agua sin responsabilidad, con el inevitable crecimiento urbano creamos una exigencia cada vez mayor. Mientras la sociedad se vuelva cada vez más urbana, exigirá más y mejores servicios públicos a sus gobernantes.

Profundizar en el tema del agua potable nos permite apreciar cada vez más motivos de alarma. Debemos corregir los problemas que genera la administración ineficiente en los organismos operadores de los sistemas municipales de agua alcantarillado y saneamiento. Hay deficiencias claramente identificadas, bajo nivel de servicios, tarifas por debajo de costos reales, malversación de recursos de los organismos operadores, pérdidas de agua reales (fugas) y sin registrar, corrupción en obras y servicios contratados, baja calidad o improvisación de ingenierías empleadas, descapitalización y estado de quiebra permanente, eventualidad de administradores y técnicos, inviabilidad de programas de largo plazo, insolvencia crediticia, politización en la toma de decisiones, carencia de un marco regulador fuerte y permanente, incultura del agua, indisposición de

pago por parte de los usuarios, uso del agua como control político o electoral, envejecimiento de sistemas y tecnologías no renovadas, etc.

Son varias las acciones que debemos realizar para evitar la peor de las pérdidas que es precisamente la del desperdicio. Hay que iniciar con la revisión de los organismos que operan la administración del agua, no con afán de encontrar culpables, si con el fin de ofrecer soluciones. Uno de los primeros aspectos que saltan a la vista es el que los organismos operadores se encuentran descapitalizados y en estado de quiebra permanente. Resulta impostergable revisar el esquema financiero no solamente con la mira hacia el incremento de tarifas, el aumento por sí solo nada resolvería, mucho menos la ineficiencia en la cobranza, la revisión del esquema debe de ser integral, por lo tanto no puede efectuarse al margen del marco normativo. Esto atañe desde luego no solo al ámbito Federal, desde luego es indispensable el avance en las regulaciones estatales.

La función de los organismos operadores del agua municipal es muy amplia e importante, ya que deben obtener el recurso agua, conducirlo, potabilizarlo y entregarlo en calidad y suficiencia a los usuarios. Deben también coleccionar las aguas pluviales y las residuales y sanearlas antes de desecharlas. Todo esto en un ambiente político - social difícil de manejar. Es clara y compleja la tarea operativa de los organismos. Se requiere de instrumentos normativos y financieros que permitan una adecuada operación. Debemos enfrentar la revisión de la Ley de Aguas Nacionales con una visión de futuro que aliente y dé certidumbre a la inversión privada y a la población. Solo así se podrá garantizar la llegada de los fondos necesarios para la operación de rescate.

El principal problema que enfrentan los organismos operadores de los sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento municipal, es el que se relaciona con el círculo vicioso pernicioso. El usuario le dice al organismo “no te pago porque me otorgas mal servicio”. El organismo le responde al usuario “te doy mal servicio porque al no pagarme no cuento con recursos para mejorarlo”.

Uno de los aspectos en el manejo del agua, en los que prácticamente casi todos estamos de acuerdo, es el gran desperdicio que de la misma se realiza.

Resulta patético revisar las estadísticas nacionales referentes a los números que arroja la operación del agua en nuestro país. Por cada metro cúbico de agua que se suministra a la red municipal, únicamente se factura el 50%. Aquí, caben muchas interrogantes, ¿registramos adecuadamente los consumos de los usuarios?, ¿están registrados en nuestro padrón todos los usuarios?, ¿existen tomas clandestinas?, ¿tenemos fugas en la red que desconocemos?, ¿nuestros medidores registran con exactitud?, ¿efectuamos auditorías periódicas del agua?, ¿conocemos realmente el volumen de agua que introducimos a la red?, ¿conocemos realmente nuestra red de distribución, sus flujos, presiones, válvulas, tanques, etc.? Estas y muchas más preguntas podemos hacernos sin encontrar respuesta precisa.

Si mostramos capacidad para romper esquemas en servicios públicos, como es el caso de las comunicaciones telefónicas, debemos, a pesar de la naturaleza monopólica del servicio de administración del agua, tener la capacidad de transformar los esquemas de administración que apunten cada

vez más hacia la eficacia y honestidad en el manejo y la justicia y equidad en el servicio.

La visión responsable de futuro debe de dar hoy respuestas firmes y convincentes.

Si en conciencia atendemos el desarrollo social y político y con responsabilidad manejamos los aspectos financieros y logramos un marco normativo adecuado, estaremos en posibilidad de aprovechar el desarrollo tecnológico y evitar que la crisis del agua nos alcance.

Finalmente, podemos decir que el objetivo principal de este programa es reducir el nivel de fugas existentes en el sistema de distribución hasta un mínimo aceptable y mantenerlo así a largo plazo, en condiciones de viabilidad técnica, económica, financiera e institucional.

Para poner en marcha a nivel nacional estas acciones, se requiere una estrategia que se resume a continuación:

## **ESTRATEGIA NACIONAL DE MEJORAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA Y LOS SERVICIOS RELACIONADOS**

### **1. AREA COMERCIAL Y FINANCIERA**

- ✓ Actualización del padrón de usuarios
- ✓ Programa específico de servicio a grandes usuarios
- ✓ Proyecto de actualización periódica de tarifas

## 2. AREA TÉCNICA

- ✓ Evaluación y diagnóstico de la infraestructura existente (incluyendo el catastro de redes)
- ✓ Plan maestro a corto y mediano plazo

## 3. AREA OPERATIVA

- ✓ Micromedición de consumos
- ✓ Macromedición de caudales
- ✓ Estadística de fugas
- ✓ Sustitución de redes

## BIBLIOGRAFIA

### **1. Sistema Hidráulico del Distrito Federal**

Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica  
México, D. F. 1994

### **2. Evolución de la Ingeniería Sanitaria y Ambiental en México**

Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica  
México, D. F. 1994

### **3. Compendio DGCOH 2000**

Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica  
México D. F. 2000

### **4. Reducción Integral de Pérdidas de Agua Potable**

Ochoa Alejo Leonel, Bourguett Victor  
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  
México, D. F. 1998

### **5. Control de fugas en sistemas de distribución**

Libro II, 2ª. Sección, Tema 4  
Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento  
Comisión Nacional del Agua

### **6. Sistema de tubería para la conducción de fluidos**

DURA-LINE. Fabricante de tuberías de polietileno  
Querétaro, Qro. 1998

### **7. Polyethylene Municipal Piping Systems**

Plexco. Fabricante de tuberías de polietileno  
Querétaro. Qro. 1999

### **8. Evaluación de pérdidas en redes de distribución de agua potable**

Ochoa Alejo Leonel, Arreguín Cortés Felipe  
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.  
1993

**9. El desafío del agua en la Ciudad de México**

Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable  
(CESPEDES)

México, D. F. 2000

**10. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y  
Saneamiento a diciembre de 2000.**

Comisión Nacional del Agua

México D. F. 2001

**11. Agua para la Ciudad más grande del mundo**

Departamento del Distrito Federal, Secretaría de Obras y Servicios, Comisión  
de Aguas del Distrito Federal

México, D. F. 1996