



124
2 eje.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DETECCION Y CORRECCION DE FUGAS EN REDES
DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

GABRIEL ANGEL TRUJILLO PINEDA



MEXICO, D. F.

DICIEMBRE 1994

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-187/93

Señor
GABRIEL ANGEL TRUJILLO PINEDA
Presente.

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

**"DETECCION Y CORRECCION DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCION DE
AGUA POTABLE"**

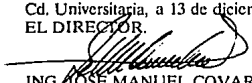
INTRODUCCION

- I. CAUSAS Y EFECTOS DE LAS FUGAS DE AGUA POTABLE**
- II. CRITERIOS DE DETECCION DE FUGAS**
- III. METODOS PARA LA DETECCION DE FUGAS**
- IV. PROGRAMA DE DETECCION Y ELIMINACION DE FUGAS**
- V. EXPERIENCIA EN LA DETECCION DE FUGAS**
- VI. 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 13 de diciembre de 1993.
EL DIRECTOR.


ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/RCR*mcen

A MIS PADRES:

Estela y Gabriel

Gracias por la confianza que me brindaron al permitirme salir de mi pueblo natal, por darme las herramientas para poder forjarme como un hombre de bien; gracias por ese apoyo tan firme y sólido que se me dio sin recato alguno, gracias por todos los sacrificios que hicieron para que me culminara y tuviera una carrera universitaria, gracias por todo.

Gracias Papá, gracias Mamá.

A Laura, Martha y Gisela

Por ese amor de hermandad que me ha permitido estar siempre juntos, aunque nos separen varios cientos de kilómetros; por tener ese espíritu de unidad y humildad entre nosotros que me a permitido cabalgar siempre a la par.

A Magalli

Por todo el apoyo compartido, por esas ganas de lucha y superación que me has propiciado, por ese deseo de salir adelante en la vida, por ese gran amor, amistad y cariño que me has brindado y que has sabido agudizar.

AL INGENIERO

I Ingeniero civil, fue mi objetivo
N No dudó ni un momento, los sacrificios fueron
G Grandes, noches de desvelo y
E Esfuerzo, transcurrieron a través del sueño.
N No desmayó y luchó hasta llegar al principal:
I Incomodo quise ser y ahora lo
E Estoy logrando, tras el apoyo de amigos, compañeros, profesores y el
R Rocio de algunos que otro tropiezo
I Ingeniero al fin y orgulloso de ser
O Otra fuente de la UTM.

A todas las que de alguna forma intervinieron en mi formación
compañeros de estudio y amigos: Juan Elliot, Mario, Álvaro, Dania,
Clandia, Leo, Pepe, Hector, Romero, ... y profesores: Gracias Ing.
Enrique César por ese gran apoyo y por ser tan buena persona como un
excelente profesor.

ÍNDICE

"DETECCIÓN Y CORRECCIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE"

I.- CAUSAS Y EFECTOS DE LAS FUGAS DE AGUA POTABLE

- I.1** **Clasificación de las fugas de agua potable**
- I.2** **Principales causas de las fugas de agua potable**
 - I.2.1** Falta de calidad de los materiales y accesorios
 - I.2.2** Corrosión en las tuberías
 - I.2.2.1** Tuberías de hierro
 - I.2.2.2** Tuberías de acero
 - I.2.2.3** Tuberías de concreto armado
 - I.2.3** Movimientos del suelo
 - I.2.3.1** Arcillas expansibles
 - I.2.3.2** Sismos
 - I.2.3.3** Deslaves de terrenos
 - I.2.3.4** Consolidación
 - I.2.3.5** Por construcciones aledañas
 - I.2.4** Efectos del tráfico
 - I.2.5** Mala calidad de mano de obra
 - I.2.6** Falta de conformidad del producto con la especificación de la norma
 - I.2.7** Falta de exigencia de los organismos operadores
 - I.2.8** Golpe de ariete
 - I.2.9** Aire en las tuberías
 - I.2.10** Rebase de la vida útil
 - I.2.11** Electrólisis
 - I.2.12** Alta presión
 - I.2.13** Cambios de temperatura
- I.3** **Lugares donde se presentan las fugas con mayor frecuencia**
 - I.3.1** Fugas en la instalación hidráulica de la edificación
 - I.3.2** Fugas en las tomas domiciliarias
 - I.3.3** Fugas en las tuberías de conducción y distribución (tuberías principales)
 - I.3.3.1** Daños en las tuberías de asbesto-cemento por edades

I.3.4 Fugas en los tanques de almacenamiento

I.4 Efectos de las fugas de agua potable

I.4.1 Efectos económicos y sociales

I.4.1.1 Situación de los servicios

I.4.1.2 Costos

I.4.2 Impacto ambiental

I.4.2.1 Calidad del agua en la ciudad de México

II. CONTENIDOS DE DETECCIÓN

II.1 Proceso de detección y control de pérdidas

II.1.1 Conocimiento del estado físico y operativo de la red de distribución

II.1.1.1 Información de partida

II.1.2 Diagnóstico o evaluación de las fugas de agua

II.1.3 Detección y reparación de las fugas de agua

II.1.3.1 Adquisición, instalación y sustitución de micromedidores

II.1.3.2 Detección, localización y reparación de fugas

II.2 Criterios de selección de sectores prioritarios para planes de detección de fugas

II.2.1 Establecimiento de las prioridades estableciendo indicadores

II.2.1.1 Volumen facturado/Volumen suministrado (%) Kd

II.2.1.2 Qmn-Qi/Qmed (%) Kb

II.2.1.3 Grado de medición Kc

II.2.1.4 Valor facturado del sector/Valor facturado total (%) Kd

II.2.1.5 Consumo per cápita residencial (litros/persona/día) Ke

II.3 Criterios del Instituto Mexicano de Tecnología del agua (I.M.T.A.)

II.3.1 Metodología para detectar y controlar pérdidas de agua en sistemas de distribución

II.3.1.1 Información inicial

II.3.1.2 Evaluación de la situación actual

II.3.1.3 Adquisición, instalación y sustitución de micromedidores

II.3.1.4 Detección, localización y reparación de fugas

II.3.1.5 Implantación y control de pérdidas permanentes

II.3.2 Metodología para evaluar pérdidas actuales

II.3.2.1 Información requerida

II.3.2.2 Análisis de pérdida

II.3.3 Macromedición de las fuentes de abastecimiento

II.3.4 Evaluación de las fugas en la red

II.3.4.1 Actividades de campo

II.3.4.1.1 Obtención de la información inicial

II.3.4.1.2 Selección de distritos pitométricos

II.3.4.1.3 Inspección de válvulas limitrofes

II.3.4.1.4 Determinación de consumo doméstico real

- II.3.4.1.5 Delimitación de los distritos pitométricos
- II.3.4.1.6 Medición global del consumo
- II.3.4.1.7 Evaluación de pérdidas en la red
- II.3.5 Evaluación de fugas en tomas domiciliarias
- II.3.5.1 Trabajos preliminares
- II.3.5.1.1 Información de partida
- II.3.5.1.2 Obtención de la muestra
- II.3.6 Trabajos de campo
- II.3.6.1 Inspección de fugas en tomas domiciliarias
- II.3.6.2 Excavación y aforo en tomas domiciliarias
- II.3.7 Resultados estadísticos
- II.3.7.1 Ocurrencia de fugas
- II.3.7.2 Volúmenes de fuga
- II.3.8 Micromedición
- II.3.8.1 Evaluación de sub y sobremedición
- II.3.8.1.1 Trabajos preliminares
- II.3.8.1.2 Desarrollo de trabajo de campo
- II.3.8.1.3 Verificación de micromedidores
- II.3.8.1.4 Sustitución y pruebas a micromedidores instalados
- II.3.8.2 Resultados
- II.3.8.2.1 Estadísticas de consumo
- II.3.8.2.2 Errores de exactitud y gastos de pérdida
- II.3.8.3 Impacto de la micromedición
- II.3.8.3.1 Trabajos de campo
- II.3.8.3.2 Información y muestreo
- II.3.8.3.3 Instalación de micromedidores ocultos
- II.3.8.3.4 Instalación de micromedidores visibles
- II.3.8.4 Resultados
- II.3.8.4.1 Comportamiento de usuarios en el ahorro del agua

III. MÉTODOS PARA LA DETECCIÓN DE FUGAS

- III.1 Métodos basados en la inspección visual del terreno
- III.1.1 Afloramiento del agua en las calles
- III.1.2 Ablandamiento del terreno
- III.1.3 Inspección de la humedad del suelo
- III.1.4 Aparición de pequeñas corrientes
- III.1.5 Crecimiento frondoso de vegetación en un punto determinado
- III.2 Métodos basados en la presión interior de la tubería
- III.2.1 Estudios pitométricos
- III.2.1.1 Prueba del flujo de hidrantes
- III.2.1.2 Cambio de la pendiente piezométrica
- III.2.2 Golpe de ariete

- III.3 Métodos basados en interpretaciones acústicas**
 - III.3.1 Varilla metálica
 - III.3.1.1 Varillas de sondeo
 - III.3.2 Varilla con micrófono, amplificador y audifonos
 - III.3.2.1 Detector de fugas Fisher LT-10 y LT-15
 - III.3.2.1.1 Principio de operación
 - III.3.2.1.2 Localización de la fuga
 - III.3.3 Equipo amplificador de sonido y filtrado
 - III.3.4 Equipo de detección de sonido de alta precisión (Acelerómetro)
- III.4 Métodos que usan indicadores**
 - III.4.1 Óxido nítrico disuelto en agua
 - III.4.2 Sal disuelta en agua
 - III.4.3 Aire con helio (generalmente 10% de helio y 90% de aire)
 - III.4.4 Metano con nitrógeno
 - III.4.5 Metano con argón
 - III.4.6 Otros métodos de detección de fugas
 - III.4.6.1 Inyección de trazadores radiactivos
 - III.4.6.2 Midiendo la cantidad de agua desalojada por una tubería
- III.5 Correlación**
 - III.5.1 Descripción del equipo
 - III.5.2 Localización de la fuga
 - III.5.3 Escucha y reconocimiento

IV. EXPERIENCIA EN LA DETECCIÓN DE FUGAS

- IV.1 Experiencias obtenidas en México con el grupo correlación**
 - IV.1.1 Problemática detectada
 - IV.1.1.1 Necesidad de realizar altas inversiones para adquirir equipos
 - IV.1.1.2 Falta de adecuación tecnológica de aparatos correladores a las circunstancias operativas reales de nuestro país.
 - IV.1.1.3 Falta de soporte técnico de empresas especializadas
 - IV.1.1.4 Falta de conocimiento de la utilidad de los aparatos
 - IV.1.1.5 Deficientes estructuras organizativas de organismos operadores
 - IV.1.2 La experiencia técnica
- IV.2 Experiencias en Brasil (Griffin Drenassa y Emissao)**
 - IV.2.1 Altos costos de operación
 - IV.2.2 Suma de tecnologías
 - IV.2.3 Reducción del impacto en la ciudad
 - IV.2.4 Financiamiento y recuperación económica

IV.3	Programa de control de pérdidas de agua
IV.3.1	Control de pérdidas de agua en sistemas de distribución
IV.3.1.1	Objetivos de un programa de control de pérdidas
IV.3.1.2	Proyecto de actividades
IV.4	Experiencias de control de pérdidas en Tijuana
IV.4.1	Proyecto del sistema de operación
IV.4.2	Proyectos del sistema comercial
IV.4.3	Proyecto de los sistemas de apoyo
IV.4.4	Ejecución de servicios y atención al público
IV.4.5	Esquema general del sistema
IV.4.6	Implantación
IV.4.7	Conclusiones
IV.5	Experiencias en Inglaterra
IV.5.1	Reparación de fugas
IV.5.2	Las pérdidas de agua en Londres
IV.6	Proyecto de administración de los servicios de agua potable en el Distrito Federal
V.6.1	Sistema de automatizado para la administración de servicios

INTRODUCCIÓN

El abastecimiento de agua a las ciudades se dificulta cada vez más por la creciente diferencia entre los caudales que es posible suministrar y los que se requieren para satisfacer las necesidades de los usuarios, ya que los sistemas de distribución presentan pérdidas de agua potable generados por diversos factores, pérdidas que generalmente presentan la diferencia entre la medición de la cantidad de agua suministrada al sistema y el volumen de agua considerado como base para la facturación y cobro de los servicios.

Se estima que aproximadamente el 30% de los volúmenes que se suministran se pierden por fugas en las tomas, por lo tanto, esas fugas de agua tienen transcendencia social y económica, ya que se trata de agua que ha sido captada, conducida, potabilizada y distribuida, con el consecuente costo, y que se pierde por fallas en el sistema de distribución.

Existen varias clasificaciones de las fugas y para su clasificación se toma como base su origen, tamaño, dónde se producen y en qué lugares se presentan.

Las pérdidas de agua en un sistema de agua potable se define como la diferencia entre el agua producida y el agua vendida, y su existencia se debe a las siguientes causas fundamentalmente:

- a) Mala medición (micromedición y macromedición)
- b) Fugas en tuberías de las redes de distribución y en las tomas domiciliarias causadas por:

- Falta de calidad de materiales y accesorios
- Corrosión en las tuberías
- Movimientos del suelo
- Efectos del tráfico
- Mala calidad de la mano de obra
- Falta de conformidad del producto con la especificación de compra
- Falta de exigencia de los organismos operadores de agua potable
- Golpe de ariete
- Aire en las tuberías
- Rebase de la vida útil
- Electrólisis
- Alta presión
- Cambios de temperatura

Los efectos que las fugas de agua nos traen como consecuencia varios aspectos determinantes los cuales se manifiestan de varias formas y son los siguientes:

-
- Aspectos económicos y sociales.
 - Se presenta la situación que se está viviendo, analizando los logros alcanzados y lo que nos falta para alcanzar la completa satisfacción del servicio de agua potable.
 - Los costos, analizando algunos aspectos económicos, tarifas que se cobran por los consumos de agua y la facturación y cobro de este servicio de agua potable.
 - Otro de los efectos de gran interés que se plantea y de gran importancia para todo ser viviente, es el impacto ambiental que traen como consecuencia las fugas de agua y el suministro desmedido de las fuentes de abastecimiento.

La cuantificación de fugas en un sistema de distribución de agua potable se puede estimar con base en medición de consumos y volúmenes de agua suministrados, o bien con muestreos aleatorio, aforando una de las partes ocurridas.

El primer plazo permite una valoración global y proporciona las directrices generales para implantar los programas de control de fugas. El segundo caso establece una cuantificación más detallada del problema, localiza las zonas de la población que se encuentran más dañadas y da las bases para desarrollar los programas de reparación a corto plazo.

Actualmente en la ciudad de Guaymas, Sonora, existen pérdidas por fugas en el sistema de distribución de agua potable y según registros de las brigadas de reparación se calcula que el mayor porcentaje de dichas pérdidas se escapa por fugas en tomas domiciliarias. Por esta razón, se decidió realizar un estudio para cuantificar las fugas en estas conexiones domiciliarias y establecer un plan de emergencia de reparación de ellas, y poder tener un criterio más amplio de la importancia de las fugas de agua.

El control de las pérdidas de agua se realiza mediante un proceso de retroalimentación en tiempo y espacio, el cual está dividido en las siguientes partes:

1. Información básica
2. Diagnóstico de la situación actual
3. Adquisición, instalación y sustitución de micromedidores
4. Detección, localización y reparación de fugas
5. Implantación y control de pérdidas permanentes

Por falta de exigencia de los organismos de agua potable y saneamiento de la región de América Latina y el caribe, los productos utilizados en los sistemas públicos de distribución y en las instalaciones prediales presentan deficiencias en cuanto al nivel de calidad, sea por falta de conformidad del producto con la especificación de compra, sea por uso de un producto no adecuado a la aplicación o por presentar el mismo un diseño obsoleto.

Para tener una correcta aplicación en el proceso de detección y corrección de fugas de agua potable fue necesaria la creación de varios métodos, destacándose, desde métodos basados en la simple inspección visual hasta métodos muy sofisticados, dentro de los cuales se destacan los siguientes:

- Métodos basados en la inspección visual del terreno, que van desde la observación del afloramiento en las calles, ablandamiento del terreno, inspección de la humedad, aparición de pequeñas corrientes y crecimiento frondoso de vegetación en un punto determinado.
- Métodos basados en la presión interior de la tubería, utilizando la aplicación en estudios pitométricos como el cambio de la pendiente piezométrica y el golpe de ariete.
- Métodos basados en interpretaciones acústicas, que van desde los más sencillos como la varilla metálica, varillas de sondeo, varilla con micrófono, amplificador y audifonos hasta los más sofisticados como son los siguientes: un detector Fisher, equipo de amplificador de sonido y filtrado y un equipo de alta precisión como es el Acelerómetro.
- Métodos que usan indicadores, esto métodos se utilizan cuando los métodos de sonido para detección de fugas son impracticables y son del tipo de: Óxido nítrico disuelto en agua, sal disuelta en agua, la mezcla de aire con helio, metano con nitrógeno, metano con argón y otros como son la inyección de trazadores radiactivos y midiendo la cantidad de agua desalojada por una tubería
- Método de la correlación, es un método que se aprovecha de la más avanzada tecnología y que utiliza la propagación del sonido producida por la fuga y una relación matemática que determina la posición de esta.

Las experiencias vividas en varias partes del mundo dentro de la detección de fugas, nos han dado una gran pauta del conocimiento de la detección y corrección de las fugas de agua, tanto en datos estadísticos como en procesos y métodos de detección, en el presente trabajo se dan a conocer las experiencias obtenidas en México con el equipo de correlación; experiencias en Inglaterra, la experiencia en Brasil con las empresas Griffin Drenassa y Emissao ambas empresas dedicadas al sector del abastecimiento de agua potable y saneamiento y que actualmente se encuentran dentro de las 10 mejores del mundo; además se analiza lo que es un programa de control de pérdidas, que a través de un ejemplo en la ciudad de Tijuana se ven las experiencias de un programa de control de pérdidas y se presenta lo que será en el futuro una realidad, un proyecto de administración de los servicios de la agua potable en el Distrito Federal con la participación privada que trata de obtener un sistema automatizado de los servicios.

I. CAUSAS Y EFECTOS DE LAS FUGAS DE AGUA POTABLE

Investigaciones realizadas en diferentes países de Latinoamérica ponen de manifiesto, que una gran parte de la demanda de agua potable no se encuentra justificada y demuestran que esto se debe a desperdicios producidos tanto en el interior de las edificaciones abastecidas como en el conjunto de tuberías principales y conexiones domiciliarias que constituyen los sistemas de distribución.

Para tener un panorama de las distintas causas y efectos que traen consigo las fugas, es necesario mencionar los tipos que existen, clasificarlos y analizar detalladamente cada uno de los principales factores que provocan las fugas de agua potable.

I.1 Clasificación de las fugas de agua potable

Para clasificar los diferentes tipos de fugas que existen se toma como base su origen, tamaño, ¿dónde se producen? y ¿en qué lugares se presentan?

Tipo 1:

Fugas pequeñas que se producen en las uniones de las tuberías de las redes de distribución o de servicios que se presentan en forma de goteos o exudaciones. Este tipo de fugas es difícil de detectar por técnicas normales. Sólo puede hacerse a través de aparatos de detección o descubriendo las tuberías directamente.

Tipo 2:

En esta clasificación se encuentran las fugas pequeñas que en conjunto aportan un alto porcentaje de desperdicio, pero que no son apreciables a simple vista.

Tipo 3:

Dentro de esta categoría se clasifican las fugas de agua grandes, del tipo de roturas, agua fluyendo visiblemente, ruido en las casas, baja presión y falta de agua. Estas fugas de agua son de las que se reportan y se reparan inmediatamente.

Existe otra clasificación que depende del tipo de gasto que produce la fuga, como se muestra en el cuadro 1.1.

Cuadro 1.1 Clasificación de las fugas de agua de acuerdo a su magnitud.

TIPO	MAGNITUD (l/s)
D	Goteo - 0.025
A	0.030 - 0.320
B	0.380 - 0.320
C	Mayor de 1.26

En Holanda existen dos clasificaciones para las fugas subterráneas, en tuberías principales y en tomas domiciliarias, dividiéndose básicamente en dos grupos:

A. Estas fugas son las que afloran en la superficie, dependiendo directamente del tipo de suelo, material de la tubería, etc. y pueden ser comparativamente cortas o extenderse por semanas.

B. Aquellas que encuentran una salida hacia algún canal natural subterráneo o alcantarilla existente y como consecuencia estas fugas tiende a descubrirse después de varios años.

Se estima que aproximadamente el 30% de los volúmenes que se suministran se pierden por fugas en las tomas domiciliarias (tipo 1, 2 y/o fugas pequeñas), por lo tanto, esas fugas tienen transcendencia social y económica en la población, ya que se trata de agua que ha sido captada, conducida, potabilizada y distribuida con el consecuente costo y que se pierde por fallas en el sistema de distribución.

Actualmente existen instaladas en México cerca de 9 millones de tomas domiciliarias de las cuales el 60 % aproximadamente presenta problemas cuyas causas de falla son atribuidas a diversas razones, sin embargo poco se ha hecho para erradicar el problema.

I.2 Principales causas de las fugas de agua potable

Dentro de las causas que inciden en forma frecuente para que se presente una fuga de agua potable se encuentran las siguientes:

- Falta de calidad de materiales y accesorios.
- Corrosión en las tuberías
- Movimientos del suelo.
- Efectos del tráfico.
- Mala calidad de la mano de obra.
- Falta de conformidad del producto con la especificación de compra.
- Falta de exigencia de los organismos operadores de agua potable
- Golpe de ariete.
- Aire en las tuberías.
- Rebase de la vida útil.
- Electrólisis.
- Alta presión.
- Cambios de temperatura

A continuación se muestran estas causas:

I.2.1 Falta de calidad de materiales y accesorios.

La mala calidad de materiales y accesorios redundan en una vida útil corta, ocasionando desperdicios de agua por reparaciones a tuberías defectuosas.

Estudios estadísticos efectuados recientemente en México indican que el 90% de las fugas de agua que aparecen en la red secundaria se presentan en las conexiones domiciliarias que utilizan mangueras negras sin marca y la tubería conduit (poliducto que se utiliza en el entubado de las instalaciones eléctricas), las dos de mala calidad para este tipo de uso.

La calidad de los materiales con que se construyen los sistemas de abastecimiento de agua potable es un factor muy importante para lograr un buen funcionamiento del mismo, la selección de los materiales para líneas de tubería debe estar basada fundamentalmente sobre las siguientes consideraciones :

- a.- La capacidad inicial de transporte del tubo y su reducción con el tiempo, definida por ejemplo por el coeficiente de capacidad hidráulica (C) de Hazen Williams.
- b.- La resistencia del tubo, medida por su capacidad para soportar la presión interna y las cargas externas.
- c.- La vida útil o durabilidad de la tubería y accesorios, determinada como la resistencia a la corrosión del tubo de hierro, colado o acero; del tubo de duelas con banda de acero; del tubo de concreto y asbesto-cemento a la erosión y desintegración y del tubo de plástico al agrietamiento y desintegración.
- d.- La facilidad o dificultad para transportar, manejar y tender el tubo bajo diferentes condiciones de topografía, geología y comunicación.
- e.- La seguridad, economía y disponibilidad de los tamaños fabricados.
- f.- La disponibilidad de mano de obra calificada para tuberías de distintas clases.
- g.- Los requerimientos de mantenimiento y reparación.

Figura 1.1 Falta de calidad de accesorios y materiales.



1.2.2 Corrosión en las tuberías.

1.2.2.1 Tuberías de Hierro:

Los problemas asociados con las tuberías ferrosas, principales y de servicio, se reconocen por el debilitamiento causado por la corrosión que las hace más susceptibles a fallas. Muy conocido el fenómeno de grafitación (*) causado por la disolución de hierro, quedando como resultado una estructura débil grafitada produciéndose la ruptura de la tubería ocasionando la inevitable fuga de agua. La corrosión interna de la tubería puede producirse por el acarreo de aguas corrosivas o agresivas que en ocasiones pueden causar ataque a las tuberías metálicas causando debilitamiento de la pared interna de tubería y fugas de agua como consecuencia de lo mismo.

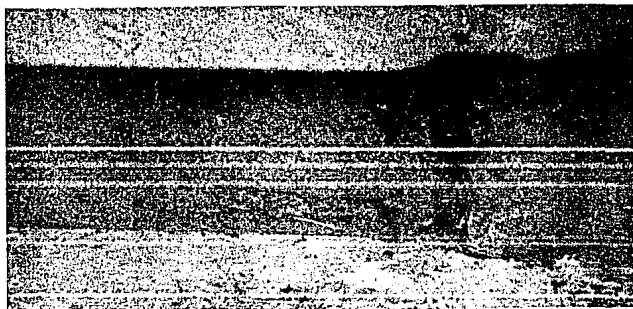
1.2.2.2 Tuberías de acero:

Como todos los metales los aceros en ciertos casos pueden ser atacados de manera uniforme en toda la superficie. Si el medio no es suficientemente oxidante, la capa protectora en la superficie del metal puede terminar por desaparecer, lo que conducirá a su ataque generalizado (Pasividad inestable).

Por otra parte, el estado de la superficie del metal influye en el carácter de la pasividad, llegando a la resistencia máxima si las superficies están exentas de contaminación por partículas ferrosas o por incrustaciones de diversos orígenes.

La corrosión por picaduras se produce principalmente por la presencia de cloruros, éste tipo de corrosión bastante generalizado y muy peligroso, se traduce por la formación de picaduras perforantes que pueden ser muy poco visibles en la superficie. Por ésta causa se puede presentar la rotura en la tubería.

Figura 1.2 Corrosión en las tuberías



1.2.2.3 Tuberías de concreto armado:

El concreto es un material constituido por granulados diversos y por cemento el cual se refuerza con acero armado para formar el ducto, en principio la corrosión del armado de acero es posible después de la degradación del recubrimiento del concreto. Las causas principales de la degradación son las siguientes:

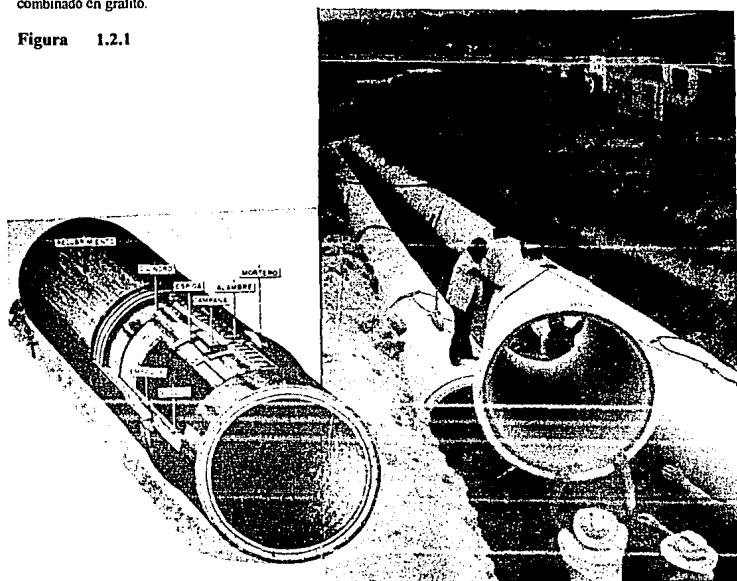
Permeabilidad excesiva, existencia de fisuras debidas a condiciones deficientes de elaboración, erosión debida a velocidades superiores de 4 m/s de circulación del agua .

La presencia de sedimentos preexistentes en una red antigua y obstruida o procedentes del paso de agua mal filtrada pueden ser causa de corrosión por las siguientes razones:

- a) Creación de zonas bajo el sedimento no aireadas
- b) Desarrollo de diversas cepas bacterianas.

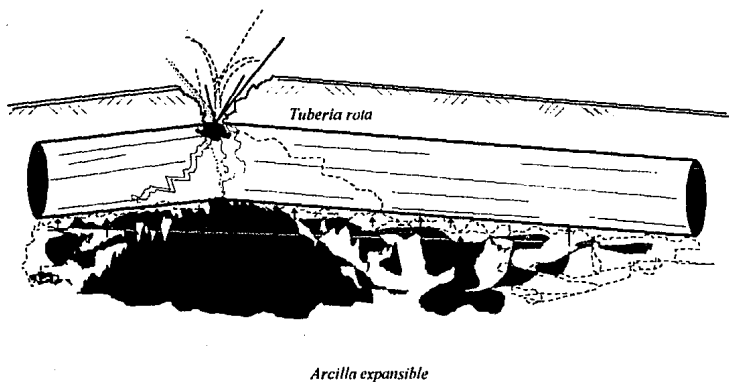
(*) **GRAFITIZACIÓN:** Tratamiento térmico de la fundición gris, cuya finalidad es la transformación de todo el carbono combinado en grafito.

Figura 1.2.1



1.2.3 Movimientos del suelo.

Figura 1.3 Arcillas expansibles



1.2.3.1 Arcillas expansibles

Este tipo de causas que producen fugas de agua se presenta específicamente en suelos arcillosos que se expanden y contraen de acuerdo con el contenido de humedad (También llamado contenido de agua de un suelo, que es la relación que existe entre el peso de agua contenida en el mismo y el peso de su fase sólida $w = (W_w/W_s) \times 100$); es común que en un sistema de agua potable en operación se tengan roturas, en las tuberías de asbesto-cemento cuando se alojan en zanjas cuyo material está formado por arcillas negras expansivas, el problema se debe principalmente a que la zanja se rellena con el mismo producto de excavación; al intemperizarse y después compactarse sobre la tubería se originen esfuerzos cortantes que la fracturan

1.2.3.2 Sismos

Los temblores afectan también a las tuberías produciendo fugas, en mayor o menor grado dependiendo de su intensidad, los movimientos que se generan en el subsuelo lógicamente mueven a todas las estructuras incluyendo las redes de distribución de agua potable y si éstas algunas veces presentan fugas por cambios de temperatura con mayor razón con un sismo de intensidad considerable

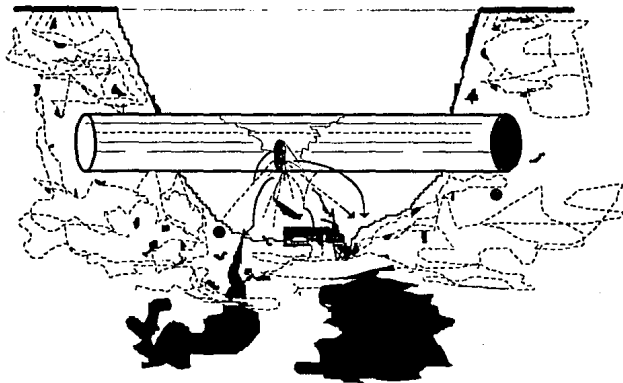
Figura 1.4 Sismos



1.2.3.3 Deslaves de terrenos

Existen terrenos blandos en los cuales se pueden presentar deslaves ocasionados por la lluvia; poniendo en peligro la estabilidad de la tubería en un tramo de una red de abastecimiento de agua potable, ya que por lo regular la tubería está apoyada a lo largo del terreno y si en una de sus partes se presenta un deslave la tubería dejará de tener contacto en toda su superficie de apoyo creándose un momento flexionante no calculado, no previsto y pudiendo hacer fallar a la tubería o pieza especial, lo que ocasionará una fuga de agua. Si es una fuga no detectable fácilmente por lo permeable del terreno ocasionará un mayor deslave poniendo la estructura en peligro de falla en ese tramo.

Figura 1.5 Deslave de terrenos

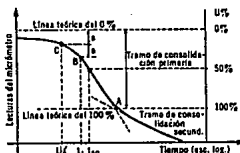
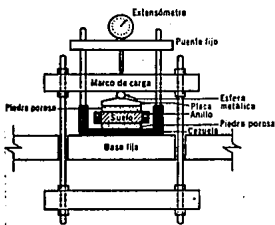


1.2.3.4 Consolidación

Se le llama consolidación al proceso de disminución de volumen que tenga lugar en un lapso, provocado por un aumento de las cargas sobre el suelo.

Debido a la acción de nuevas cargas (estructuras por ejemplo) los suelos se comprimen aún más, bajo las nuevas cargas que se les comunica. Por lo tanto una red de abastecimiento de agua potable a cierta profundidad podrá tener esfuerzos adicionales no previstos por la compresión que le trasmite el suelo por las cargas adicionales que este pueda tener; estos esfuerzos adicionales ocasionados por la consolidación pueden fracturar tramos de tubería o piezas especiales, por lo que es conveniente tener una cama de apoyo bien compactada para evitar mayores esfuerzos adicionales, además de hacer el trazo de la tubería donde se prevea que no se construirán estructuras de gran peso que transmitan una carga al terreno que lo llegue a consolidar.

Figura 1.6 Fenómeno de consolidación



Determinación del 0% y del 100% de consolidación primaria en una curva de consolidación.

1.2.3.5 Por construcciones aledañas

Algunas veces se realizan excavaciones por alguna construcción proyectada y no se toman las medidas necesarias, para asegurarse de que no existan instalaciones que se puedan dañar por la excavación realizada, debido a falta de planos, o falta de observación de planos, lo que trae como consecuencia dañar un tramo de tubería de alguna parte de la red de abastecimiento de agua potable (por ejemplo; las excavaciones realizadas para la construcción del transporte colectivo subterráneo de la Cd. de México).

Figura 1.7 Construcciones aledañas

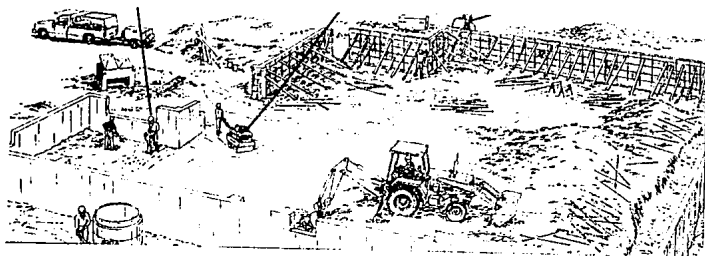
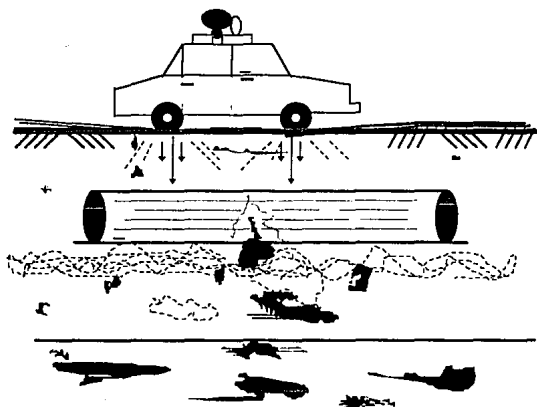


Figura 1.8 Efectos del tráfico



1.2.4 Efectos del tráfico

Las tuberías antiguas ubicadas bajo superficies no diseñadas para aceptar las cargas impuestas por el tráfico moderado son muy susceptibles a fracturarse, especialmente aquellas con uniones rígidas. Por ejemplo, este problema se produce por tensión en las inserciones de las tomas domiciliarias de polietileno de alta densidad; este tipo de tomas domiciliarias al someterse a una tensión originada por el paso de vehículos es común que se desprenda en el punto donde se ubica la abrazadera de cremallera que une al tubo con el conector (Fig. 1.5 Toma domiciliaria).

Las tuberías de instalación reciente también son susceptibles de daños similares si la profundidad y compactación del terreno sobre las mismas no son adecuadas.

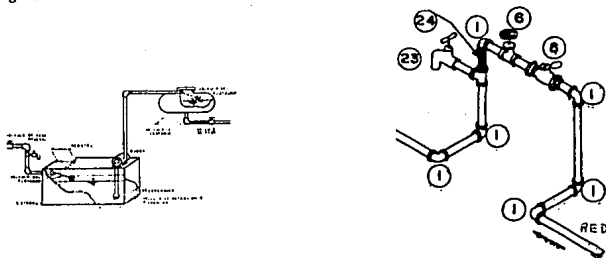
1.2.5 Mala calidad de mano de obra

La mala calidad de mano de obra implica mayor tiempo de duración en la ejecución de la instalación, mayores costos y una instalación defectuosa. Por lo que es indispensable adiestrar al personal en las técnicas de fontanería más adecuadas y al mismo tiempo deberá dotársele del equipo y herramientas necesarias.

La mala realización en el proceso de construcción, dan como resultado la ruptura y aplastamiento de la tubería por falta de profundidad, así como deficiente unión de la tubería con las conexiones ya que aun cuando en ciertos casos resulta que son incompatibles se realiza la unión de todas formas.

El 45% de los organismos operadores en México reportan fugas en la tubería de la red secundaria, causadas por deficiencias en la construcción o en la calidad de los materiales, tales como aplastamiento y rotura de la tubería por insuficiente profundidad, deficiente unión entre la tubería y los accesorios de la conexión.

Fig. 1.9 Toma domiciliaria



1.2.6 Falta de conformidad del producto con la especificación de norma

Algunos organismos operadores no cuentan con las especificaciones precisas para la compra de materiales y como estos no dependen de la organización técnica, que es la que proporciona las características necesarias del tipo de material, que depende del área administrativa, esta opta normalmente por el bajo costo y no por las especificaciones del área operadora.

Otro factor que provoca que los materiales empleados sean de menor calidad o inadecuados, es que en alguno de los casos es el usuario el que adquiere los materiales para la toma domiciliaria, sin que el organismo operador le proporcione especificaciones concretas para ello, con lo que queda en libertad de elegir el material, optando generalmente por el de bajo costo. En una muestra investigada por la CNA en el Distrito Federal este caso se presenta en un 25%

Asimismo los organismos investigados no cuentan con las especificaciones precisas para la adquisición de tubería o accesorios para las tomas domiciliarias, ya que solo el 20 % de la muestra estudiada dispone de dichas especificaciones o recomendaciones.

1.2.7 Falta de exigencia de los organismos operadores de agua potable

Por falta de exigencia de los organismos operadores los productos utilizados en los sistemas públicos y en las instalaciones prediales presentan deficiencia en cuanto al nivel de calidad, ya sea por falta de conformidad del producto con la especificación de compra, por el uso no adecuado a la aplicación o por presentar un diseño obsoleto.

1.2.8 Golpe de ariete

Se denomina golpe de ariete a la variación de presión en una tubería, por encima o por debajo de la presión normal de operación, ocasionada por rápidas fluctuaciones en el gasto producidas por la abertura o cierre repentino de una válvula o por el paro o arranque de las bombas, ya sea en condiciones de operación normales o por una interrupción de energía eléctrica, cuando ésta se utiliza en los motores que impulsan a las bombas.

El golpe de ariete se produce por un cambio súbito de energía cinética a energía de presión; esta presión se transmite a lo largo de la tubería como una onda cuya velocidad máxima es igual a la transmisión del sonido en el líquido que se conduce, esta sobre presión se puede calcular, en columna de agua, con la sig. fórmula:

$$H = 145 v / (1 + (KD/Ee))^{1/2}$$

Donde **H** = Sobre presión en metros.

v = Velocidad inicial en el tubo en m/s.

K = Módulo de elasticidad del líquido en kg/cm² (20,670 Kg/cm² para el agua).

E = Módulo de elasticidad del material del tubo (kg/cm²)

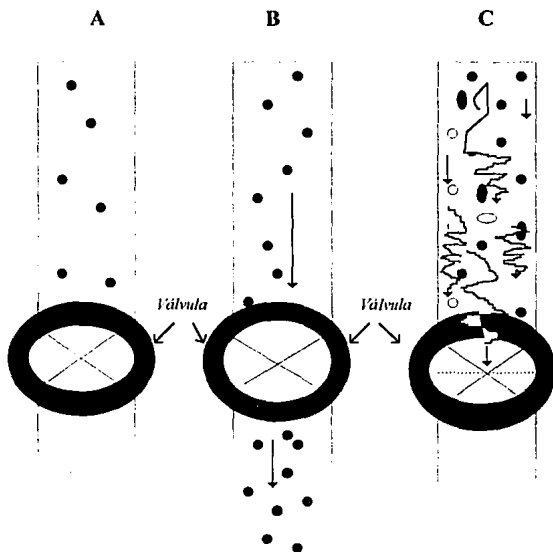
Acero	2'100,000	Kg/cm ²
Cobre	1'300,000	"
Hierro colado	1'050,000	"
Asbesto-Cemento	328,000	"
Concreto	175,000	"
PVC	33,000	"

D = Diámetro interior del tubo en cm.

E = Espesor de la pared del tubo en cm.

Los resultados de este fenómeno transitorio son las fallas debido a las altas presiones que producen fracturas en las tuberías principales y de servicio y desplazamiento de los bloques de anclaje, por lo general esto se debe a la operación del sistema por tandeos o a un corto circuito repentino, ya sea por falla eléctrica o mecánica en la planta o pozo según sea el suministro.

Figura 1.12 Golpe de ariete



En " A " se representa una válvula cerrada y el agua en reposo.

En " B " se muestra la válvula abierta al empezar a salir el agua, arrastra las pequeñas burbujas y después de un intervalo relativamente corto el flujo se normaliza.

En " C " se representa el momento en que se cierra la válvula, observándose como las partículas del agua en movimiento no alcanzan a salir, chocando violentamente con la parte interior de la válvula, al convertirse la energía cinética en energía de presión llamado golpe de ariete.

1.2.9 Aire en las tuberías.

El aire en las tuberías, normalmente supone una condición altamente perjudicial y de un peligro potencial, que daña las redes no importando el tipo de material con que esté fabricado. Esto ocurre dentro de cualquier red de suministro y es muy común que se formen bolsas de aire en la red por fallas en el suministro. Normalmente una red debe construirse con sus válvulas automáticas de expulsión y admisión de aire, pero, cuando se carece de ellas el aire entrará a través de todas sus tomas y solo podrá ser expulsado en sus puntos altos

1.2.10 Rebase de la vida útil

En general la corrosión externa e interna se incrementa con el tiempo y conforme mas viejas son las tuberías y accesorios, mayor incidencia de fugas se presentan. En las tomas domiciliarias una de las fallas más frecuentes resulta cuando se combina una instalación muy antigua que ya rebasó su vida útil, ocasionando que las partes que integran la instalación como la tubería , uniones, válvulas , conexiones, etc. fallen causando fugas de agua. En el cuadro 1.2 se muestra la vida útil de diversos elementos de un sistema de abastecimiento de agua potable.

Cuadro 1.2 Vida útil de diversos componentes de agua potable

ELEMENTOS	VIDA ÚTIL (Años)
-Pozos excavados	30
-Tanques de almacenamiento de : concreto o mampostería, tubería de concreto pre-esforzada , canales de concreto-reforzado	40
-Líneas y tuberías de acero recubiertas y tuberías de concreto reforzado	25 (d)
-Líneas y tuberías de acero sin cubrir	20 (d)
-Tuberías de asbesto-cemento, P.V.C.	20 (e)
-Tuberías de hierro fundido secundarias	15 (c)
-Válvulas de : compuerta, globo, etc.	15
-Medidores de agua, instrumentos de medición y accesorios	8
-Motor eléctrico (b)	20
-Tanque de almacenamiento de acero y torre	20

NOTAS:

d) la vida útil debe reducirse 5 años aproximadamente en caso de aguas o suelos corrosivos. En cada caso se determinará por medio de análisis las características corrosivas del agua.

e) la vida útil debe reducirse de 5 a 10 años aproximadamente en caso de aguas duras. Este tiempo se definirá en base a las características del agua.

1.2.11 Electrólisis

Este fenómeno (*) se presenta en lugares en donde las tuberías metálicas se encuentran en un medio húmedo debido generalmente al nivel de agua freática. En esta condición el material de las tuberías se deposita en el terreno.

La práctica, muy común en nuestro medio, de conectar la tierra de aparatos eléctricos como calentadores de agua a la cañería de acero galvanizado acentúan este fenómeno. (Esto sucede en los países latinoamericanos principalmente, nunca debe permitirse esta conexión)

(*) ELECTRÓLISIS:

Descomposición de una sustancia por medio de la corriente eléctrica. Cuando a la disolución de un electrólito (Sustancia que, disuelta en agua, hace que la solución sea conductora de la electricidad) se le aplica una corriente continua, se establece una migración iónica entre el ánodo que atrae los iones negativos y cátodo que lo hace con los positivos.

1.2.12 Alta presión

Es aceptado que un aumento en la presión causará un incremento en el desperdicio. La presión en un sistema de distribución tiene tres defectos que deben considerarse:

- a) Una fuga existente aumentará su magnitud con la presión.
- b) La incidencia de fugas aumenta con la presión.
- c) En términos generales, el consumo aumenta con la presión. Cuando el uso del agua depende de una válvula que debe ser operada por el usuario, por ejemplo, para lavarse las manos, se da un aumento en el consumo conforme mayor es la presión, aún cuando por definición este aumento no es estrictamente una fuga, sí es de interés reducirlo.

Existen varios reportes de los efectos de la presión sobre el control del desperdicio:

1) Babbitt y Dolan, dos investigadores, mencionan que en un caso dado, un incremento de presión de 18 a 32 metros de carga de agua, resultó en un incremento en el consumo mayor del 30%.

2) La Asociación de Investigación del agua de Inglaterra (The Water Research Association) llevó a cabo un experimento en cuatro sectores de una ciudad para examinar los efectos de la presión en el desperdicio. Los resultados se presentan en la figura 1.15. En esta figura puede observarse que, con una pequeña disminución en la presión, se obtiene una reducción considerable en el desperdicio. En los resultados que

se grafican en esta figura debe considerarse el hecho de que algunos puntos de la lectura pudieron haber sido tomados cuando se producía algún consumo en el sector, simultáneamente, por ejemplo el llenado de una cisterna. Sin embargo, muy claramente evidencia el efecto de la presión en el desperdicio. Obsérvese además, que estas relaciones no siguen la ley de proporcionalidad con la raíz cuadrada de la velocidad.

De dichos ensayos se puede concluir, que:

- a) El efecto de la presión en el desperdicio de un sector es único para ese sector y dependiente del régimen y clase de fugas existente en el tiempo considerado. La relación es compleja y no necesariamente proporcional a la raíz cuadrada de la presión.
- b) La razón de descarga de una fuga individual no es necesariamente proporcional a la raíz cuadrada de la presión del sitio donde se da la fuga.
- c) Existe evidencia para afirmar que las presiones altas contribuyen a la ocurrencia de fugas.

Figura 1.15 Alta presión en tuberías



La elevada presión en una red de distribución de agua potable es una causa importante de fugas; si el sistema no ha sido diseñado correctamente, pueden tenerse puntos con excesivas presiones que hacen fallar a las conexiones y en ocasiones, hasta romper la misma tubería.

En caso de tener elevadas presiones, fundamentalmente debido a la topografía, las redes de distribución, normalmente son provistas de piezas especiales que reducen éste problema, como por ejemplo válvulas reductoras de presión (principalmente en sistemas por gravedad).

1.2.13 Cambios de temperatura

Los cambios de temperatura producen expansiones o contracciones en las tuberías y si no se les permite cambiar de longitud por falta de juntas que absorban los esfuerzos longitudinales producidos por éstos cambios probablemente se presentarán fugas.

La expresión matemática para calcular los cambios de longitud en las tuberías inducidas por la temperatura es la siguiente:

$$A = C \times O \times L$$

Donde:

A =	Cambio en la longitud del conducto (Ft)
C =	Coefficiente de expansión de la pared del tubo
Acero	$6.5 \times 10^{-6} \cdot ^\circ\text{F}$
Hierro colado	$6.2 \times 10^{-6} \cdot ^\circ\text{F}$
Concreto	$5.5 \times 10^{-6} \cdot ^\circ\text{F}$
L =	Longitud del conducto (Ft)
O =	Cambio de temperatura ($^\circ\text{F}$)

Existen piezas especiales que permiten el deslizamiento de la tubería; tales como válvulas flexibles o deslizantes llamadas comercialmente de expansión y gibault.

Para absorber esfuerzos por cambios de temperatura, se instalan en las tuberías juntas denominadas de deslizamiento que permiten movimientos longitudinales sin que se presenten fugas. En lugares o zonas donde se presentan temperaturas muy bajas puede presentarse rotura de la tubería ya que se congela el agua contenida en el tubo y se ejerce un esfuerzo adicional a las paredes del tubo pudiéndolo romper, desde luego esta temperatura debe ser menor de los cero grados centígrados; aunque no es muy factible que en una tubería cubierta se congele el agua porque el material que lo cubre actúa como aislante, además de que el agua en movimiento es más difícil que se congele.

1.3 Lugares donde se presentan las fugas con más frecuencia

El agua por su naturaleza propia tiende a escapar de cualquier medio de almacenamiento o distribución, llámese tanque de almacenamiento, conducción, distribución, tomas domiciliarias o en la instalación hidráulica de los propios domicilios. En los siguientes apartados se identifican los lugares donde se presentan las fugas con más frecuencia analizando el agua en sentido contrario del flujo de agua.

1.3.1 Fugas en la instalación hidráulica de la edificación

Dentro de los domicilios las fugas que se presentan en mayor frecuencia son las debidas a falta de empaques en los flotadores, desgastes, mal funcionamiento de los muebles cocina o baño y en menor escala por tuberías rotas expuestas o empotradas en la construcción además de los diferentes tipos de válvulas de servicio (Figura 1.3)

1.3.2 Fugas en las tomas domiciliarias (acometida o toma de servicio)

La primordial presencia de este tipo de fuga de agua hace su aparición en las juntas o uniones de la tubería y el cuerpo de conducción.

El tipo de daño que se presenta en las tomas domiciliarias son de menor grado en comparación con el que se presenta en las tuberías de conducción y redes, aunque con mayor frecuencia.

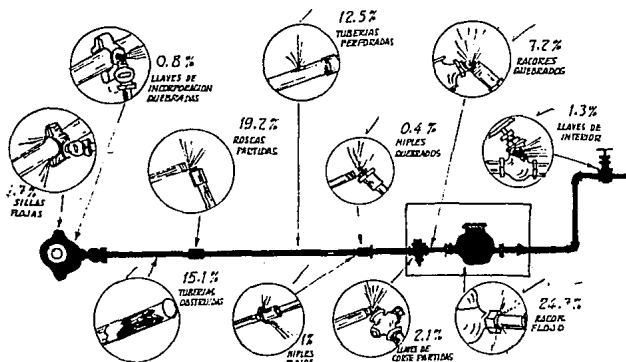
De un análisis estadístico de 20,000 casos de reparaciones realizadas en el acueducto de Bogotá Colombia, el 40% se presentaron en las redes de distribución y conducción y el 60% sucedieron en las tomas domiciliarias.

En el cuadro 1.4 se listan los principales daños que se presentan las tomas domiciliarias.

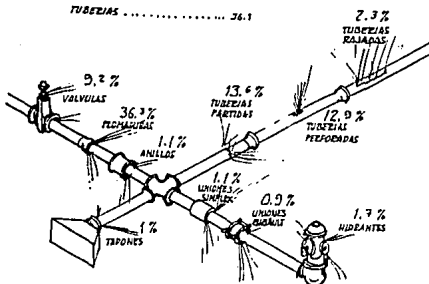
Cuadro 1.4 Distribución de daños en tomas domiciliarias

TIPOS DE DAÑO	PORCENTAJE
1.- Niples desgogotado	0.4
2.- Registros de incorporación desgogotados	0.8
3.- Niples flojos	1.1
4.- Registros de rueda dañados	1.5
5.- Registros de corte desgogotados	2.1
6.- Acometidas abandonadas	2.4
7.- Tuberías superficiales	3.4
8.- Sillas flojas	4.7
9.- Registros de corte dañados	4.9
10.- Racores desgastados	7.2
11.- Tuberías perforadas	12.5
12.- Tuberías obstruidas	15.1
13.- Roscas desgogotadas	19.2
14.- Racores de medidores flojos	24.7
TOTAL EN PORCENTAJE =	100 %

Figura 1.3 Distribución de daños en conexiones domiciliarias



	%	FALLAS EN LAS TUBERÍAS PRINCIPALES
UNIONES	42.4	
VALVULAS	9.2	
ACCESORIOS	14.3	
TUBERÍAS	36.1	



1.3.3 Fugas en las tuberías de conducción y distribución (Tuberías principales)

Al igual que en las tomas domiciliarias de agua las fugas también se presentan en las uniones y el cuerpo del tubo.

Las fugas causadas en las uniones suceden con mayor frecuencia en las tuberías de plomo que en las automáticas - "push on joint" - o mecánicas, siendo también de consideración las que se dan en flexibles tales como la triplex de asbesto, cemento y otras similares como la gibault o dresser.

Las causadas en el cuerpo de la tubería se presentan por sobre presiones, esfuerzos concentrados, tuberías perforadas y rajadas por el efecto de la corrosión.

En la tabla 1.5 se presenta un análisis de las fugas mas frecuentes en este tipo de tuberías, realizado en Bogotá Colombia.

De los daños ocasionados en las redes de distribución como se indica en el análisis de la figura el 40.4% se produce en las uniones de estas tuberías de las cuales la mayoría corresponden principalmente a uniones flojas y desalojadas.

En cambio la incidencia de tuberías que se parten, obstruyen o cortan es de 36% de este porcentaje corresponden a las tuberías de acero 48% de contribución, 44% en los tubos de asbesto-cemento y un 8% a las tuberías de fundición. Estas proporciones pueden explicarse en función de las longitudes de las tuberías de los distintos materiales ya que es mayor la longitud de las tuberías de acero que de fundición de la red de distribución..

Los tipos de tubería que se usaron en porcentaje de estos datos de la investigación fueron los siguientes:

MATERIAL	PORCENTAJE
Acero	63.0 %
Fundido	20.0 %
Asbesto-Cemento	17.0 %
Total	100.0 %

Tabla 1.5 Análisis de daños en las tuberías principales

L U G A R	PORCENTAJE %	T O T A L %
1.- EN LAS UNIONES		
Plomaduras flojas	25.4	40.40
Plomaduras desalojadas	10.9	
Anillos (Plomaduras)	1.1	
Uniones simples	1.1	
Roscas	1.0	
Uniones gibault	0.9	
2.- EN LAS TUBERÍAS		
Partidas	13.6	36.10
Perforadas	12.9	
Cortadas	6.3	
Rajadas	2.3	
Obstruidas	0.7	
Superficiales	0.4	
3.- EN LOS ACCESORIOS		
Pilas	9.1	14.30
Sillas	1.9	
Hidrantes	1.7	
Tapones	1.0	
Ventosas	0.6	
4.- EN LAS VÁLVULAS		
Válvula con escape	3.9	9.20
Registros dañados	2.9	
Válvulas dañadas	1.7	
Válvulas superficiales	0.4	
Registros trabados	0.3	
TOTAL =		100.00%

I.3.3.1 Daños en las tuberías de asbesto-cemento por edades

De un análisis de 405 (Tabla 1.6) daños que realizó CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y ciencias del ambiente) a tuberías de asbesto-cemento se observó que los primordiales daños se deben a tuberías perforadas y partidas de lo cual se encontró que el 80% de los casos se presenta en tuberías menores de 3 años de instalación y el 50% sucede en los primeros meses de su vida útil. De lo cual se puede deducir que el problema es ocasionado por una mala instalación de este tipo de tubería.

Tabla 1.6 Análisis de daños en tuberías de asbesto-cemento

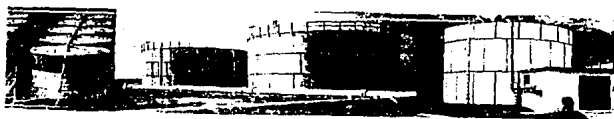
EDAD (Años)	DAÑOS (%)
0 - 1	53
1 - 2	19
2 - 3	12
3 - 4	7
4 - 5	6
5 - 6	3
Total	100%

I.3.4 Fugas en los tanques de almacenamiento

El agua tiende a fugarse por rebalses o reventaduras en el propio tanque.

Las fugas por rebalses generalmente son de gran magnitud debidas principalmente al mal funcionamiento de válvulas de control, del nivel de flotadores o válvulas de alitud, por lo que se requiere una especial atención de supervisión y mantenimiento.

Las ocasionadas por reventaduras pueden ser visibles o no. Una manera de verificar es cerrando la entrada y salida del tanque, se mide la altura que desciende el agua en determinado tiempo. Entonces la altura multiplicada por el tiempo nos dará el volumen perdido.



I.4 Efectos de las fugas de agua potable

La creciente demanda de servicios de agua potable provocada por una población que va en aumento aceleradamente, como es la de nuestro país, México, y por una industria con desarrollo importante, requiere de una respuesta que en las condiciones actuales de organización, infraestructura y de recursos tanto técnicos como financieros, no es posible dar.

Para el caso de los servicios de agua potable, esta situación se complica aún más por la disminución de abastecimiento por tres motivos principales: la sobreexplotación de los mantos acuíferos entre otras fuentes de abastecimiento, las fugas de agua en las redes de distribución y la contaminación cada vez mayor de los cuerpos de agua disponibles.

I.4.1 Efectos económicos y sociales

Las fugas representan un factor importante agravante de las pérdidas debidas a su naturaleza y a su gran participación porcentual en las mismas. Representan una pérdida efectiva de líquido, con reflejos sociales y económicos importantes en la población, ya que se trata de agua captada, bombeada, tratada, almacenada, distribuida y en el instante que está lista para ser consumida, sobreviene la pérdida debido a fallas en el sistema de abastecimiento.

Tomando en cuenta que la mayoría de los componentes de los sistemas se encuentran bajo tierra las fugas que ocurren muchas veces pasan desapercibidas al no acusar indicios en la superficie.

Los volúmenes de agua no contabilizados se estima pueden llegar al 50% en relación a los extraídos de las fuentes de abastecimiento, y son un factor negativo para lograr la autosuficiencia de los sistemas.

Las fugas de agua no detectadas ni reparadas oportunamente representan fuertes cantidades de dinero que gravitan sobre la economía de los organismos responsables de la prestación de servicios de agua potable, pues estos volúmenes que no serán facturados no solo costaron por su extracción, bombeo, tratamiento y distribución, si no que causan perjuicios de consideración a los usuarios al efectuar sus pagos.

I.4.1.1 Situación de los servicios

En el año de 1992 las cifras disponibles señalaban que un 30% de la población total no contaba con abastecimiento de un sistema formal de agua potable.

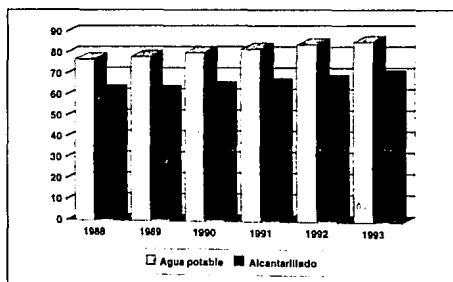
En la tabla I.4.1 el número de personas que no disponían de los servicios, diferenciando la población urbana de la rural. La población urbana se ha dividido en las grandes urbes y en zonas rurales.

Tabla I.4.1 Población con Servicio de agua potable

Poblaciones	Población total (Millones de hab.)	Población servida de agua (%)	Población sin servicios
Grandes urbes	30.00	90.00	8.40
Otras zonas urbanas	31.30	69.90	13.10
Zonas rurales	26.30	49.00	24.10
Totales	87.60	69.90	26.10

Fuente: Revista mexicana de la Construcción. Agosto de 1992

Gráfica I.4.2 Logros de este sexenio de Abastecimiento de agua potable y alcantarillado



Fuente: Revista Noticolegio (CICM). Octubre de 1994.

Los 12.7 millones de habitantes en las zonas urbanas que carecen del servicio de agua potable, son generalmente los que viven en las colonias populares.

La solución de la carencia de servicios en las colonias populares de las zonas urbanas, no debe limitarse a la introducción de redes de agua potable, sino ligarse al problema global de abastecimiento de la ciudad y al

de las redes principales de distribución. Con frecuencia, la sola introducción de redes ha sido contraproducente, propiciando la justa irritación de la población que se encuentra con tomas sin agua o con un servicio deficiente y escaso.

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

El caudal total suministrado a nivel nacional, se estima alrededor 170, 000 l/s, la mayor parte no está medida, y de esta la zona metropolitana de la ciudad de México recibe 63,000 l/s, Guadalajara 11,000 l/s, y Monterrey 9,500.

Fuente: Revista mexicana de la Construcción. Agosto de 1992

1.4.1.2 Costos

Las principales ciudades del mundo destinan recursos importantes para detectar y corregir las fugas, aún cuando los criterios puramente económicos no lo justifiquen en todos los casos y a pesar de las dificultades y molestias que acarrea. Por ejemplo, en la ciudad de México el alto costo del suministro del agua justifica plenamente los recursos destinados a esta actividad.

Es necesario mejorar la eficiencia del proceso de medición facturación y cobro para recuperar el costo del servicio. Para esto es necesario depurar el padrón de usuarios y establecer tarifas que reflejan el costo real del suministro, diferenciando el uso al que se destine el agua, el volumen consumido y el tipo de usuarios

1.- Aspectos económicos

En la industria del agua tiene especial importancia la eficiencia en el uso útil del agua (Nuu).

$$Nuu = \frac{100 \cdot V_v}{V_p} \quad \text{Ecuación (1)}$$

V_v = Volumen vendido en m³/mes

V_p = Volumen producido en m³/mes

Si se toman en cuenta todos los costos en que se incurre para mantener funcionando un organismo de agua potable, en última instancia, se recuperan a través de los métodos cúbicos de agua vendidos, es fácil inferir que entre más alto sea el valor de Nuu, más bajo será el precio del metro cúbico vendido al usuario.

$$V_p = V_v + V_{nc} \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$V_{nc} = V_{up} + V_{dnc} + V_f \quad \text{Ecuación (3)}$$

- V_{nc} = Volumen de agua no contabilizada en m³/mes

- V_{up} = Volumen de uso público en m³/mes, tal como limpieza de lugares públicos, riego de parques, extinción de incendios, etc.
- V_{dnc} = Volumen distribuido no contabilizada en m³/mes, debido a conexiones fraudulentas, desperdicios por usuarios que no tienen medidor domiciliario, fallas en la medición, conexiones no censadas por fallas en el sistema comercial del organismo, etc.
- V_f = Volumen perdido por fugas en la red de distribución en m³/mes. Se puede descomponer en fugas identificadas (reparadas o por reparar) y fugas ocultas o no identificadas.

El desperdicio intradomiciliario o abuso en el uso del agua por el usuario con medidor domiciliario, se considera como agua vendida puesto que es cobrada por el organismo. La limitación de uso excesivo o desperdicio es sumamente importante y debe tomarse muy en cuenta al definir políticas tarifarias. Sin embargo no será considerado en este análisis el cual se ocupa, principalmente, del agua no contabilizada.

El valor de $N_{uu} = 100$ indicará que toda el agua que se produce en un sistema es vendida. Tal valor no se obtiene en ningún acueducto. En los acueductos operados muy eficientes, el valor N_{uu} oscila entre 85 y 90 y en los acueductos mal operados, el valor de N_{uu} puede llegar a valores tan bajos como 40. La tendencia promedio es que este valor de N_{uu} oscile entre 65 y 75.

Un valor de $N_{uu} = 90$ indica que el precio que hay que cobrar por metro cúbico de agua vendida es un 11% mayor $\left\{ \left(\frac{100}{90} - 1 \right) 100 \right\}$ que el costo promedio del metro cúbico producido y transportado a la red.

Un valor de $N_{uu} = 40$ indica que el precio que hay que cobrar por el metro cúbico de agua vendida es de un 150% mayor $\left\{ \left(\frac{100}{40} - 1 \right) 100 \right\}$ que el costo promedio del metro cúbico producido y transportado a la red.

El hecho de que se presentan variaciones tan grandes en los valores de la eficiencia en el uso útil del agua (N_{uu}) indica que el precio del metro cúbico de agua que se vende al usuario depende tanto de la forma en que se operen y mantengan las obras de distribución y conducción como las de producción.

De las ecuaciones (1), (2) y (3) se tiene:

$$N_{uu} = \frac{100 V_v}{V_p} = \frac{100 (V_p - V_{dnc})}{V_p}$$

$$N_{uu} = \frac{100 (V_p - V_{up} - V_{dnc} - V_f)}{V_p} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Para que el usuario esté consciente del valor del agua, de su condición de escasez y de la importancia fundamental para su vida y nivel de bienestar, es indispensable que conozca el costo real de los servicios y éste le sea aplicado.

II.- Tarifas

Las tarifas de agua se han incrementado, por ejemplo un usuario doméstico de un departamento ubicado en la delegación de Iztapalapa en el Distrito Federal, con un diámetro de 1/2", promedio diario 0.28 m³ debido a que no se cuenta con medidor en condiciones aceptables, un importe de N\$0.60 por m³ nos da un total por bimestre de N\$ 10.20, resultando que de ninguna manera justifica el costo real del suministro de los servicios, que al menos debería de ser de \$1.40/m³ para justificar el costo real.

III.- Facturación y cobro

Dentro de los programas tendientes a la modernización de los procedimientos de facturación y cobro, la DGOH ha implantado desde 1984 sistemas que parten de la medición de consumos y su procesamiento para fines de facturación. Destacan por su importancia, el sistema de grandes usuarios y el sistema de pozos particulares.

En la ciudad de México el padrón de grandes usuarios incluye 65,000 cuentas, de las cuales el 7% corresponden a industrias, el 38% a comercios y servicios y el 55% a usuarios domésticos. por lo que respecta al sistema de pozos particulares, en el se lleva un registro detallado de las extracciones de agua que se efectúan en los 438 pozos que forman este sistema.

Fuente: Memoria. Programa de uso eficiente del agua. México D.F. Agosto de 1992.

I.4.2 Impacto ambiental

El suministro de agua se agudiza debido a que la problemática de proporcionar el servicio no radica únicamente en aspectos técnicos y económicos, sino que también incide de manera directa en la escasez de este recurso.

1.4.2.1 Calidad del agua en la ciudad de México

El agotamiento de las fuentes de abastecimiento y la posible degradación de la calidad del agua como consecuencia de la sobreexplotación de su acuífero han complicado el abastecimiento a la ciudad y obligado a utilizar fuentes cada vez más alejadas para contribuir a satisfacer los requerimientos de la población.

Para rescatar el acuífero, se ha iniciado la expropiación de terrenos que permitirán crear zonas verdes en el Distrito Federal para preservar las áreas de recarga, fundamentalmente en Xochimilco, el Ajusco, Cerro de la Estrella y las cierras de Guadalupe y Santa Catarina. Además de esto actualmente se realizando la

recarga artificial con agua tratada y se está observando la evolución de la calidad y se está perfeccionando las medidas de control en los procesos de tratamiento y recarga.

1.- Reglamentación de la prestación de los servicios de agua potable en el Distrito Federal

Cuando fue creado el DDF (Departamento del Distrito Federal) adoleció de una reglamentación adecuada para los servicios de agua potable, drenaje y tratamiento y rehuso. Por esta razón se han actualizado los reglamentos correspondientes dentro de un marco de modernidad que busca un mayor énfasis en el uso eficiente del agua y la preservación de la calidad.

La nueva reglamentación fue publicada el 25 de Enero de 1990 en el Diario Oficial de la Federación y entró en vigor en Marzo del mismo año y distingue claramente las características específicas de cada servicio que se suministra a través del sistema hidráulico y establece los derechos y obligaciones que adquieren los usuarios.

En el caso del servicio de agua potable destacan medidas específicas para evitar desperdicios y derroches.

Para el servicio de drenaje, la reglamentación restringe las descargas de contaminación a las redes colectoras y cuerpos receptores, con lo que se reducen los riesgos de degradación de la calidad de los acuíferos y se facilita el tratamiento de las aguas residuales.

Por otra parte, se sancionan a los habitantes que dañan u operan algún componente del sistema hidráulico.

II. CRITERIOS DE DETECCIÓN

La finalidad de este capítulo es mencionar los criterios que se siguen para la detección y corrección de las fugas de agua potable en las redes de distribución de agua potable.

II.1 Proceso de detección y control de pérdidas

El criterio que se sigue para realizar el proceso de detección y control de pérdidas en sistemas de distribución de agua potable se inicia con un conocimiento de su estado físico y operativo, mediante la actualización de planos, estadísticas de consumos, medición de volúmenes etc.

Después se requiere hacer un diagnóstico o una evaluación de la situación de pérdidas existentes, con el fin de cuantificarlas e identificar las causa que las producen.

Posteriormente, con base en los resultados del diagnóstico se establecen, por un lado, los programas de adquisición, instalación y sustitución de micromedidores; y por otro, la detección, localización y reparación de fugas

Finalmente, se implanta el control de pérdidas permanentes, organizando al personal y proporcionando los medios necesarios para llevarlo a cabo y retroalimentando el proceso a través del tiempo.

II.1.1 Conocimiento del estado físico y operativo de la red de distribución

Como información básica de partida se requiere conocer el estado físico y operativo del sistema, ya que este conocimiento permite establecer la base de la metodología que se aplicará. Cuando no se dispone de la información básica, se deben implantar acciones para generarla.

II.1.1.1 Información de partida:

- Planos detallados actualizados de la red de distribución.
- Fuentes de abastecimiento.
- Ubicación de las líneas de conducción
- Padrón de usuarios actualizado.
- Estadística de consumos totales.
- Estadísticas de volúmenes de agua producida por las fuentes y suministrada.
- Planos urbanos.
- División de la sociedad en estratos socioeconómicos.
- Detalle del control de pérdidas que se esté realizando en ese momento.

II.1.2 Diagnóstico o evaluación de las fugas de agua

Una vez que se ha generado la información de partida, se procede a realizar una evaluación general del estado actual de pérdidas mediante un análisis estadístico, estableciendo:

- Parámetros correspondientes a la tendencia de ocurrencia.
- Índices y patrones de falla y reparación de fugas
- La determinación de sub y sobremedición en micromedidores domiciliarios;
- Cuantificación de volúmenes de pérdidas totales físicas y comerciales.

II.1.3 Detección y reparación de las fugas de agua

II.1.3.1 Adquisición, instalación y sustitución de micromedidores

Después de identificados los problemas con el diagnóstico, se establece un programa de adquisición e instalación de micromedidores, considerando que la selección y dimensionamiento de dichos aparatos estará en función de los distintos tipos de consumidores.

También se contempla un programa de mantenimiento preventivo, que consiste en la sustitución periódica de las piezas, atendiendo a su variación de exactitud con el tiempo; o bien; en la sustitución de los micromedidores que se hayan detectado imprecisos al realizar muestreos sistemáticos. Asimismo, se implanta un programa de mantenimiento correctivo para su reparación.

II.1.3.2 Detección, localización y reparación de fugas

Paralelamente a las actividades del inciso anterior se determina cual es la técnica apropiada para detectar y localizar fugas y cual se adapta mejor a las condiciones particulares de cada sistema.

Actualmente, se han desarrollado varias técnicas para localizar y detectar fugas, de entre las cuales se encuentra el sondeo con geófono o detector electrónico, presión diferencial, trazadores químicos, distritos pitométricos y otras que incluyen a los métodos de observación sistemática en busca de fugas tales como: zonas de baja presión, quejas del usuario, hundimientos en el pavimento, etc.

Asimismo, en esta etapa se establece la política de prioridades con planes de emergencia y a largo plazo indicando las técnicas de reparación de fugas que son adecuadas en el Lugar

II.2 Criterios de selección de sectores prioritarios para planes de detección de fugas

A fin de establecer criterios de selección de sectores prioritarios para el control de las fugas y sin que por eso se dejen de elaborar profundos estudios económico-financieros, pueden establecerse las prioridades mediante indicadores que de alguna forma reflejan los aspectos técnicos, financieros, económicos y sociales. Es posible también hacer un estudio financiero de los costos del desperdicio y establecer que factor es más prioritario. Si el primer método presenta el problema de no expresar en una forma concisa las prioridades, el segundo lleva una serie de suposiciones para obtener el resultado.

II.2.1 Establecimiento de las prioridades utilizando indicadores

Este método se basa en establecer los elementos que tienen relación con los desperdicios y fija los pesos para los indicadores que asociados al factor agravante conducen a un número que debe reflejar la prioridad del sector.

La eficiencia de este método depende de la perfecta valoración de los indicadores.

A continuación se presentan los indicadores que se pueden seleccionar, de forma general, estos indicadores pueden lograr su objetivo, sin embargo, en algunos casos, pueden ser necesarios indicadores adicionales.

II.2.1.1 Volumen facturado/volumen suministrado (%) ka

Se define como el cociente entre el volumen facturado del sector por el volumen suministrado al sector. Ese indicador permite hacer una evaluación tanto técnica como financiera y puede reflejarse en una situación social del sector. Este indicador permite hacer una evaluación tanto técnica como financiera y puede reflejarse en una situación social del sector.

Mide de una forma sucinta la situación del sistema comercial. Puede ser un indicativo de la mala comercialización de los servicios ya sea por la falta de una agresividad de mercado, un mal catastro de usuarios o un sistema tarifario inadecuado.

Muchas veces en sectores muy grandes resulta difícil la determinación del volumen facturado, principalmente si la empresa no cuenta con un buen sistema de computación, pero en la mayoría es aún fácil obtener estos valores.

II.2.1.2 $Q_{mn} - Q_i / Q_{med}$ (%) Kb

El cociente entre el caudal mínimo nocturno (Q_{mn}) menos el consumo industrial (Q_i) y el caudal medio diario (Q_{med}) expresado en porcentaje refleja normalmente, de una forma clara y objetiva, la situación del sistema distribuidor (red de distribución y conexiones).

Un valor elevado de este cociente puede representar un elevado grado de desperdicio. En la práctica, normalmente, puede establecerse como un buen cociente uno de alrededor del 20%, suponiendo que la diferencia sea debida a las fugas de agua del sistema. Queda entendido que durante la noche ese valor es calculado considerando que las presiones son mayores durante el día.

El valor de estos elementos refleja indirectamente la situación de la red de distribución con relación al material, años de uso y presión a la que están sometidas las tuberías del sistema

II.2.1.3 Grado de medición Kc

El grado de medición es un factor que influye también en la definición de prioridades. Los bajos índices de medición normalmente reflejan un alto grado de desperdicio y uso desmedido del agua por parte de los usuarios del sistema, trayendo como consecuencia altos consumos "per capita".

II.2.1.4 Valor facturado del sector / Valor facturado total (%) Kd

Los valores ya descritos se refieren a los elementos técnicos con excepción del Ka (volumen facturado / volumen suministrado) que aporta financieramente al sector. El elemento que ahora se define permite una comparación del valor de la facturación del sector con la facturación total del sistema. es obvio que la importancia de ese cociente es grande. Permite percibir de una forma global los beneficios financieros inmediatos resultantes del desarrollo del plan de control y detección de fugas. En la valoración de los indicadores para efectos de la definición de prioridades, este elemento tiene un peso realmente significativo.

En algunas localidades puede tener un valor del 20 al 25 % de la facturación total, debido a concentraciones de predios de varios pisos y de economías tipo comercial cuya tarifa puede ser significativamente superior a la residencial.

II.2.1.5 Consumo per capita residencial (litros / persona / día) Ke

Una evaluación del consumo per capita residencial con las características socioeconómicas y antropológicas de un sector puede reflejar la posibilidad de ocurrencia del desperdicio en las instalaciones prediales y residenciales, ya sean por fugas o por uso desmedido del agua. Para la valoración de este elemento es necesario conocer el consumo per capita del proyecto a fin de que se realice un análisis y luego una correcta valoración .

II.2.1.6 Índice de cobertura (%) Kf

Se define como porcentaje de predios abastecidos sobre los predios existentes del sector.

Un bajo índice de cobertura puede ser un indicativo de la existencia de conexiones reales clandestinas. Este elemento no es siempre fácil de obtener y solo se puede lograr cuando se cuenta con un buen catastro de usuarios integrado al catastro de la red distribuidora.

En el siguiente cuadro se presenta una propuesta para la valoración de los elementos que define prioridades.

En la valoración de estos indicadores se debe tener cuidado de que:

- a) Cada uno tenga un valor ponderado que refleje su influencia relativa en la selección final de las prioridades.
- b) La atribución de los valores a coeficientes de corrección de cada uno de los indicadores, en función de un análisis de casos típicos. La selección del caso típico deberá ser representativa de su universo.

Cuadro 2.1 Valoración para el establecimiento de sectores prioritarios de control de fugas

INDICA- DORES.	(%) Vol. fact	(%) Qmn-Qi	(%) Grado de Hidromedición.	(%) valor factur. del sector	Litros persona día	(%) índice de cobertura
CALIFI- CACIÓN.	Vol. Sum.	Qmed	(3) kc	valor factur. total		
	(1) Ka	(2) Kb		(4) Kd	(5) Ke	(6) Kf
1	mayor 80	menor 20	mayor 80	mayor 20	menor 100	mayor 80
2	70 - 80	20 - 40	60 - 80	15 - 20	100 - 200	70 - 80
3	60 - 70	40 - 60	40 - 60	10 - 15	200 - 300	60 - 70
4	50 - 60	60 - 80	30 - 40	5 - 10	300 - 400	50 - 60
5	menor 50	mayor 80	menor 30	menor 5	mayor 400	menor 50
Valores de pondera- ción.	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Sum. C = 1	0.25	0.30	0.10	0.15	0.10	0.10

Se establecen zonas de clasificación en un número igual para todos los indicadores, siendo corregido cada uno de ellos por un coeficiente que refleje su valor ponderado.

Este coeficiente es establecido en función del estudio de casos típicos a fin de que se determinen sus influencias en el total. Es expresado en fracción decimal cuya suma total resulta en 1.0.

Para el cálculo se utiliza la expresión matemática presentada a continuación:

$$\sum_{i=1}^n C_n = 1.0$$

Que integra la expresión

$$C1 K'a + C2 K'b + \dots + Cn K'i$$

Como ejemplo se presenta la metodología para agrupar los indicadores para su correcta calificación.

11.2.2 Establecimiento de sectores prioritarios con estimación de las pérdidas financieras

En este caso es necesario hacer una estimación de las pérdidas de facturación debidas a las fugas. Esta evaluación se realiza asumiendo una serie de suposiciones en varios elementos que interfieren en el proceso.

Para obtener los resultados es necesario una serie de consideraciones tales como:

- Suponer que el consumo ocurre en todas las conexiones proporcionalmente al diámetro de las tuberías o a la capacidad del medidor instalado en el predio.

Para esto es necesario que se tenga en el catastro de usuarios los diámetros de las tuberías. En caso de que no exista esta información en el catastro de los usuarios, se puede utilizar como factor correlativo la capacidad del medidor.

- La estimación de las pérdidas se obtiene a partir del coeficiente $Q_{mn} - Q_i/Q_{mn}$ (%) considerándose por ejemplo que su valor máximo sea en torno al 20% y teniendo en cuenta que el restante representa las fugas nocturnas.

En la mayoría de las localidades de Latinoamérica ese es un valor razonable para las fugas considerándose la optimización técnico-económica.

Se entiende que ese valor óptimo es característico de cada localidad y que su perfecta definición exige estudios que cubran los aspectos económicos financieros y técnicos. Se podría, además, obtener ese indicador por extrapolación de otra localidad semejante.

Esta evaluación se debe aplicar a la tarifa de cobranza de los servicios de forma que se tenga el valor de las fugas.

Es importante que se conozca que la evaluación tiene un objetivo específico, este es únicamente para la definición de los sectores prioritarios.

II.3 Criterios del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (I.M.T.A.)

La Comisión Nacional del Agua (CNA), a través de la subdirección general de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial contrató al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) para realizar un estudio sobre control de pérdidas en la ciudad de Guaymas, Sonora, el cual se llevó a cabo en 1990 y cuyo resultado incluye:

1. Aforo de fugas y propuesta técnica para controlarlas.
2. Recomendaciones para utilización de equipos detectores de fugas.
3. Cuantificación de la submedición y sobremedición domiciliaria y criterios para uso de micromedidores.
4. Evaluación del efecto producido por el desperdicio de agua al instalar micromedidores en zonas donde no existen aparatos.
5. Planos de uso del suelo y división de estratos socioeconómicos.
6. Detalles del programa de control de pérdidas que se esté realizando en ese momento.

Dicho estudio se presenta a continuación mencionando los diferentes criterios que se utilizaron para su realización:

El IMTA desarrolló el estudio mediante una metodología para evaluar pérdidas en redes de distribución de agua potable, la cual es el resultado de la combinación de experiencias de otros países adaptado al caso particular de la ciudad de Guaymas, Sonora.

La metodología se basa en obtener estadísticas de consumos, de macromedición y de funcionamiento hidráulico, así como de muestreos de campo del aforo de tomas domiciliarias, medición de consumos en distritos pitométricos, verificación de micromedidores e instalación de los mismos. Después de obtener y generar esta información la evaluación de pérdidas se realiza por medio de un análisis entre los registros del organismo operador y los resultados de campo de la manera siguiente:

Se divide el promedio diario de agua facturada entre la población abastecida. Con esto se obtiene el consumo doméstico "per cápita" diario promedio, de acuerdo a lo registrado por el organismo operador. Si este consumo es similar al de los distritos pitométricos, se puede inferir que el problema es causado por la existencia excesiva de fugas en la red. Finalmente, se determinan las cantidades de pérdidas con los resultados de los muestreos en campo

II.3.1 Metodología para detectar y controlar pérdidas de agua en sistemas de distribución

En términos generales, la metodología para detectar y controlar pérdidas de agua en un sistema de abastecimiento de agua potable, consiste en un proceso de retroalimentación a través del tiempo. Este proceso comprende las siguientes partes (Figura II.1)

II.3.1.2 Evaluación de la situación actual

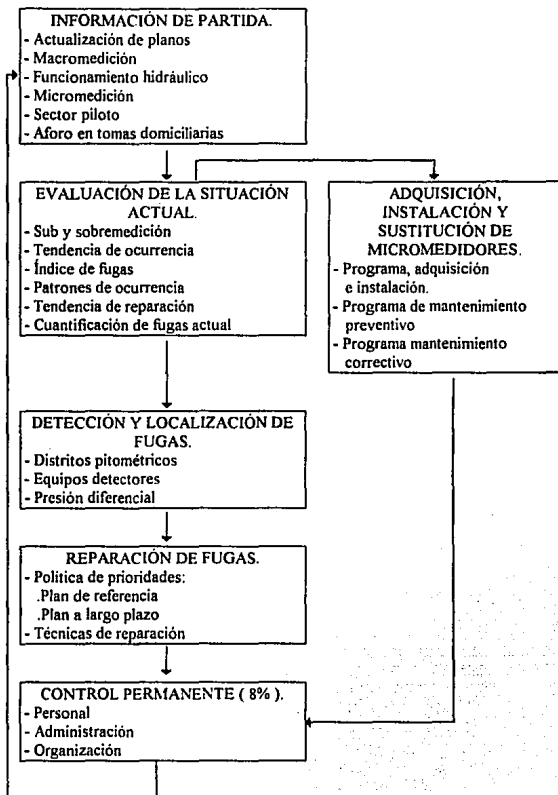
Una vez que se ha generado la información de partida, se procede a realizar un análisis estadístico de pérdidas, estableciendo los parámetros correspondientes a la tendencia de ocurrencia, índices y patrones de falla y reparación de fugas; a la determinación de sub y sobremedición en micromedidores domiciliarios; y a la cuantificación de volúmenes de pérdidas totales físicas y comerciales.

II.3.1.3 Adquisición, instalación y sustitución de micromedidores

Se establece un programa de adquisición e instalación de micromedidores, que toma en cuenta la selección y dimensionamiento de dichos aparatos, de acuerdo a los distintos consumidores. También se contempla un programa de mantenimiento preventivo, que consiste en la sustitución periódica de las piezas, atendiendo a su variación de exactitud con el tiempo, o bien en la sustitución de micromedidores que se hayan detectado imprecisos al realizar muestreos sistemáticos.

Asimismo, se implanta un programa de mantenimiento correctivo para reparación de los mismos.

FIGURA II.1 Metodología para el control de pérdidas



II.3.1.4 Detección, localización y reparación de fugas.

Paralelamente a las actividades del inciso anterior, se determina cuál es la mejor técnica para detectar y localizar las fugas y cual se adapta mejor a las condiciones particulares de cada sistema.

Actualmente, se han desarrollado varias técnicas para detectar y localizar fugas, de entre las cuales se encuentra el sondeo con geófono o detector electrónico, presión diferencial, trazadores, distritos pitométricos y otras que incluyen a los métodos de observación sistemática en busca de fugas tales como: zonas de baja presión, quejas de usuarios, hundimientos en el pavimento, etc.

Asimismo, en esta etapa se establece la política de prioridades con planes de emergencia y a largo plazo, indicando las técnicas de reparación de fugas que son adecuadas en el lugar.

II.3.1.5 Implantación y control de pérdidas permanente

Finalmente, se organiza al personal encargado del sistema y se les provee de los medios necesarios (vehículos, materiales, equipo, herramienta, etc.) para sistematizar la metodología hasta lograr que las pérdidas de agua sean menores a un porcentaje, para el cual, las pérdidas se consideran mínimas. En algunos países como Alemania se ha considerado un valor del 8% de la cantidad total entregada a la red de distribución como un porcentaje aceptable de pérdidas (Bolte 1985).

II.3.2 Metodología para evaluar pérdidas actuales

El procedimiento para evaluar pérdidas que ocurren en un sistema de agua se divide en los siguientes grupos de actividades:

II.3.2.1 Información requerida.

Básicamente se considera la siguiente información:

- a) Volumen de agua total producida y entregada diariamente (estudio de macromedición).
- b) Volumen de agua doméstica y no doméstica consumido diariamente (estadísticas de consumo).
- c) Población doméstica totalmente abastecida
- d) Consumo domestico y volumen de fugas en distritos pitométricos representativos del sistema.
- e) Estadísticas de aforo de agua por muestreo en campo, en tomas domiciliarias y verificaciones de exactitud y arranque de micromedidores.

II.3.2.2 Análisis de pérdidas.

Una vez que se tienen los datos anteriores, se determinan las causas y que cantidad de agua se pierde por fugas (en la red y en las tomas domiciliarias) y cuanta no es registrada por los micromedidores o es dejada de medir bien. El procedimiento se muestra en forma esquemática en la figura II.2

El criterio para llevar a cabo lo anterior se basa en la comparación del consumo doméstico "per cápita" real que se obtiene en los distritos pitométricos representativos de la ciudad.

Por lo que respecta al cálculo del consumo doméstico "per cápita" reportado por el organismo operador, se debe calcular con la mayor cantidad de datos históricos posible; se recomienda al menos un año. La población doméstica total abastecida se determina con los datos de censos o datos de alguna oficina de planeación urbana.

Es conveniente mencionar que las partes de la evaluación de pérdidas más significativas, que influyen notablemente en los resultados que se obtengan, son la determinación del consumo doméstico "per cápita" real de los distritos pitométricos, la verificación estadística de micromedidores y muestreo de las tomas domiciliarias, por lo que es necesario tener el mayor cuidado en su realización.

II.3.1.1 Información inicial

Es la primera etapa que se realiza para implantar un programa de control de pérdidas, y con ello se define la manera de cómo se aplicará la metodología correspondiente.

De esta forma, es necesario generar o contar con la siguiente información:

- 1.- Planos detallados y actualizados de la red de distribución, de los diferentes materiales de la misma, de la localización y estado en que se encuentran las válvulas de seccionamiento, de los hidrantes, de los tanques de regularización existentes, de la ubicación de las líneas de conducción que alimentan a la ciudad, de las presiones en la red, de la topografía en el lugar, etc.
- 2.- Padrón de usuarios actualizado, en donde se indique el tipo de medido, el estado en que se encuentra y la fecha en que fue instalado.
- 3.- Estadísticas mensuales de consumos totales, por cada usuario, por tipo y por rango de funcionamiento del micromedidor (inferior, normal superior)
- 4.- Estadísticas mensuales de volúmenes mensuales de agua entregados a la ciudad, medidos con macromedidores.

II.3.3 Macromedición de las fuentes de abastecimiento

La cuantificación de los caudales que se entregan a los sistemas de distribución de agua potable de la ciudad de Guaymas, se realizó durante un mes a través de un programa de 125 aforos con 40 estaciones

pitométricas, que se ubicaron al inicio y final de las líneas de conducción y en sus derivaciones de las mismas

El agua es suministrada por tres sistemas de pozos que son:

1. Sistema Boca Abierta, con 6 pozos localizado al oeste de la ciudad de Empalme.
2. Sistema Maytorena con 5 pozos, localizado al noreste de Empalme.
3. Sistema San José 5 pozos, localizado al norte de Guaymas.

De las mediciones realizadas tanto en los pozos como en las líneas de conducción y derivación se obtiene el balance hidráulico de los sistemas:

1. Del sistema Boca Abierta se extraen 432 l/s, de los cuales 117 l/s son entregados a la ciudad de Empalme y 315 l/s a la ciudad de Guaymas.
2. Del sistema Maytorena se extraen 231 l/s, de los cuales 139 l/s se entregan a la ciudad de Empalme y 92 l/s a la Ciudad de Guaymas.
3. Del sistema San José se extraen 144 l/s de los cuales 63 l/s son entregados a la ciudad de San Carlos y 81 l/s a la ciudad de Guaymas.

De lo anterior se resume que el caudal entregado a la ciudad de Guaymas es de 488 l/s, cuando se operan todos los pozos.

11.3.4 Evaluación de las fugas en la red

Dentro del tipo de fugas no visibles se pueden presentar dos categorías principalmente: las detectables y no detectables.

Estas últimas corresponden a fugas muy pequeñas cuya magnitud es desde un goteo hasta 0.32 l/s y pueden descubrirse después de que han transcurrido varios años.

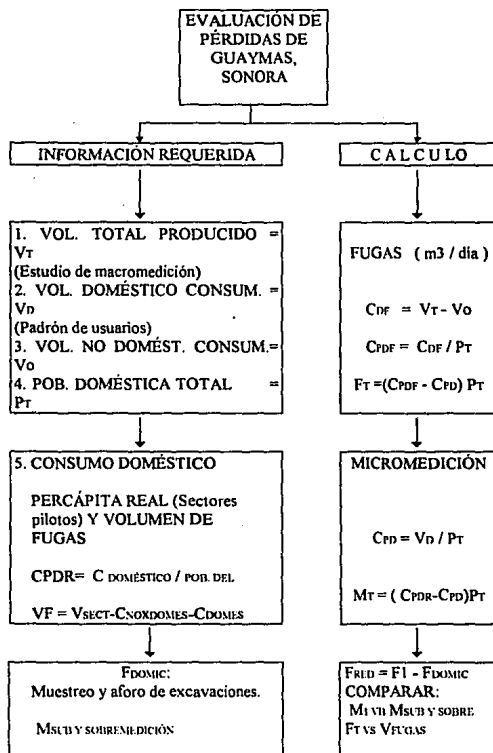
Para los objetivos del estudio de Guaymas se han considerado solo las fugas que son detectables mediante la aplicación de la técnica de Distritos Pitométricos (DP), que requiere aislar sectores, y medir los volúmenes suministrados y consumidos, y sondear con equipos acústicos.

11.3.4.1 Actividades de campo

11.3.4.1.1 Obtención de la información inicial

- a) Planos actualizados de la red.
- b) Ubicación de válvulas.
- c) Padrón de usuarios.
- d) Reporte de micromedición y macromedición.
- e) Población total de la Ciudad.

Figura II.2 Procedimientos para la evaluación de pérdidas en sistemas de distribución de agua potable.



NOMENCLATURA:

CPDF = Consumo doméstico más fugas "per-cápita".

CDF = Consumo doméstico

F_T = Volumen total de fugas.

CPD = Consumo doméstico "per-cápita"

MT = (C_{PDF}-C_{PDR}) P_T

II.3.4.1.2 Selección de Distritos Pitométricos.

Tomando en cuenta las zonas de presión homogéneas y localizados los puntos críticos de la red, se seleccionaron cuatro sectores denominados Distritos Pitométricos, DP, que corresponden a distintos niveles socioeconómicos:

DP 1	Clase baja:	San Vicente
DP 2	Clase media:	Petrolera
DP 3	Clase alta:	Villas de Miramar
DP 4	Zona comercial:	Centro

II.3.4.1.3 Inspección de válvulas limítrofes.

Se verificó la ubicación y estado de las válvulas limítrofes en cada DP, reportando a los responsables del mantenimiento cuáles deberían ser rehabilitadas.

II.3.4.1.4 Determinación del consumo doméstico real.

El consumo doméstico "per-cápita" real se determinó a partir de lecturas de volumen consumido, tomadas semanalmente durante cuatro meses, en micromedidores domiciliarios previamente calibrados. Al mismo tiempo, se levantó un censo del número de habitantes en cada domicilio comprendido dentro del sector de estudio.

II.3.4.1.5 Delimitación de los distritos pitométricos.

Se verificó el aislamiento comprobando que en la red interna y en la externa se tuvieran buenas condiciones de presión. Asimismo, se verificó que la dirección del flujo vaya en el sentido previsto, es decir, hacia dentro del mismo.

II.3.4.1.6 Medición global del consumo.

Se procedió a medir el caudal de ingreso a cada DP, con un tubo de Pitot simplex, tomando lecturas instantáneas, directamente de un manómetro " U " a intervalos de cada 15 minutos, durante 24 horas continuas.

II.3.4.1.7 Evaluación de pérdidas en la red.

Se determinó a través de dos formas para determinar los niveles de las fugas:

- Evaluando el índice de consumo mínimo, y
- Comparando los consumos domésticos "Per cápita" facturados contra los obtenidos en los distritos pitométricos.

A) Determinación de índices de pérdida.

El cálculo de los índices de pérdida se realiza siguiendo el procedimiento mostrado en el cuadro 2.3 Los resultados correspondientes se presentan en el mismo.

Cuadro 2.3 Consumos "per-cápita" determinados en tres sectores de la Ciudad de Guaymas, Sonora

DISTRITO PITOMÉTRICO PILOTO	CLASE SOCIO ECONÓMICA	CONSUMO PERCÁPITA (l/ha/día)
San Vicente	Baja	162 *
Petrolera	Media	200
Villas de Miramar	Alta	247

* Valor que considera el suministro tandeado.

B) Determinación de volúmenes de fugas.

La diferencia entre el volumen abastecido CT y el volumen consumido realmente por los usuarios, VC, durante las 24 horas en cada DP, es el volumen total de fugas, Vf; si a este valor se le resta el volumen de fugas en conexiones domiciliarias, Vfd, entonces se obtiene el volumen de pérdidas por fugas en la red de cada distrito pitométrico, Vfr, (cuadro 2.5).

Cuadro 2.5 Pérdidas de agua por fugas en un día calculadas a partir de tres estudios de distritos pitométricos

Distrito pitométrico piloto	Número de habitantes	CPDR (l/hab)	VC (l)	Vf (l)	pf (%)	Qmf (l/s)	Número de conexiones	Vfd (l)	Vfr (l)
San Vicente	2325	542.25	1260917	1903347 (22.031/5)	62.50	0.017567	447	424224	1479123 (17.121/5)
Petrolera	1496	200.40	215309 (3.471/5)	215309 (2.491/5)	15.63	0.041936	374	211802	3506 (0.0411/5)
Villas de Miramar	479	246.76	118198	17789 (0.211/5)	2.50	0.06800	114	14971	2818 (0.033/5)

El volumen consumido real VC se calcula multiplicando el número de habitantes, por el consumo doméstico "Per cápita" real, CPDR.

II.3.4.1.7 Evaluación de pérdidas en la red.

Se determinó a través de dos formas para determinar los niveles de las fugas:

- Evaluando el índice de consumo mínimo, y
- Comparando los consumos domésticos "Per cápita" facturados contra los obtenidos en los distritos pitométricos.

A) Determinación de índices de pérdida.

El cálculo de los índices de pérdida se realiza siguiendo el procedimiento mostrado en el cuadro 2.3 Los resultados correspondientes se presentan en el mismo.

Cuadro 2.3 Consumos "per-cápita" determinados en tres sectores de la Ciudad de Guaymas, Sonora

DISTRITO PITOMÉTRICO PILOTO	CLASE SOCIO ECONÓMICA	CONSUMO PERCÁPITA (l/ha /día)
San Vicente	Baja	162 *
Petrolera	Media	200
Villas de Miramar	Alta	247

* Valor que considera el suministro tandeado.

B) Determinación de volúmenes de fugas.

La diferencia entre el volumen abastecido CT y el volumen consumido realmente por los usuarios, VC, durante las 24 horas en cada DP, es el volumen total de fugas, Vf; si a este valor se le resta el volumen de fugas en conexiones domiciliarias, Vfd, entonces se obtiene el volumen de pérdidas por fugas en la red de cada distrito pitométrico, Vfr, (cuadro 2.5).

Cuadro 2.5 Pérdidas de agua por fugas en un día calculadas a partir de tres estudios de distritos pitométricos

Distrito pitométrico piloto	Número de habitantes	CPDR (l/ha)	VC (l)	Vf (l)	pf (%)	Qmf (l/s)	Número de conexiones	Vfd (l)	Vfr (l)
San Vicente	2325	542.25	1260917	1903347 (22.031/5)	62.50	0.017567	447	424224	1479123 (17.121/5)
Petrolera	1496	200.40	215309 (3.471/5)	215309 (2.491/5)	15.63	0.041936	374	211802	3506 (0.0411/5)
Villas de Miramar	479	246.76	118198	17789 (0.211/5)	2.50	0.06800	114	14971	2818 (0.033/5)

El volumen consumido real VC se calcula multiplicando el número de habitantes, por el consumo doméstico "Per cápita" real, CPDR.

Cuadro 2.4 Cálculo de índices de consumo en distritos pitométricos

DISTRITO PITOMÉ- TRICO PILOTO	CONSUMO HORARIO PROMEDIO CHP (m ³ /h)	CONSUMO HORARIO MÁXIMO CHM (m ³ /h)	CONSUMO MÍNIMO NOCTURNO CHN (m ³)	ÍNDICE DE CONSUMO HORARIO MÁXIMO (ICHM)	ÍNDICE DE CONSUMO MÍNIMO MÁXIMO (ICMN)	CONSUMO ESPECÍFICO PROMEDIO CEP (l/s/Km.)
San Vicente	131.8	190.1	96.00	1.44	0.73	13.32
Petrolera	21.15	30.20	17.70	1.41	0.82	1.66
Villas de Miramar	5.60	8.70	3.50	1.55	0.62	1.09

También, en cada DP se calculó el gasto nocturno de fuga mínima, Q_{fmin} , y el gasto de fuga aceptable (o máximo), Q_{fmax} , en función del índice del consumo mínimo nocturno ICMN, y del consumo doméstico "Per cápita" real, C_{pdr} , como se indica en el cuadro 2.4.

Cuadro 2.6 Estimación de fuga mínima nocturno medido en tres distritos pitométricos piloto en Guaymas, Sonora

DISTRITO PITOMÉTRICO PILOTO	ÍNDICE DE CONSUMO MÍNIMO NOCTURNO (%)	GASTO DE FUGA MÍNIMO NOCTURNA Q_{fmin} (l/s)	GASTO DE FUGA NOCTURNA ACEPTABLE Q_{fmax} (l/s)
San Vicente	73	0.0014	0.00075
Petrolera	82	0.0019	0.00093
Villas de Miramar	62	0.0018	0.00114

$$Q_{fmin} = ICMN \times DOTACIÓN.$$

$$Q_{fmax} = 0.4 \times Q_{fmin}.$$

Cuadro 2.7 Análisis de la evaluación de pérdidas de agua de la Cd. de Guaymas

El volumen total producido, "Vt", para abastecer a la Cd., se obtiene del estudio de macromedición en m³/día.

De los reportes de micromedición se obtiene el volumen de consumo no doméstico, "Vo":

$Vo = Vol. \text{ no doméstico} + Vol. \text{ no doméstico estimado},$

Y el volumen de consumo doméstico, Vd.

$Vd = vol. \text{ doméstico medido} + vol. \text{ doméstico estimado}.$

La población total, Pt, de la Cd. debe de obtenerse a partir de los datos censales mas recientes del INEGI.

El volumen facturado per cápita de consumo doméstico más fugas, CPDF, en m³/día, es :

$$CPDF = CDF / Pt.$$

De los estudios en los distritos pitométricos piloto, se obtienen varios consumos domésticos "Per cápita" (dotaciones) reales CPDR. Para obtener el volumen total de fugas Ft, en toda la Cd., se considera un "factor de peso", FP, expresado como porcentaje de colonias correspondientes a cada clase socioeconómica, el cual resulta de un estudio realizado por el Organismo Operador.

Entonces el Ft, se calcula como sigue:

$$Ft = N (CPDF - CPDR) \times FP \times Pt$$

Donde N es el número de CPDR obtenidos en los DPP.

El consumo doméstico "Per cápita" facturado, CPD, es:

$$CPD = VD / Pt.$$

El volumen de pérdidas de agua por mala estimación, Mt, se calcula como sigue:

$$Mt = (CPDR1 - CPD) Pt$$

Finalmente, el volumen total de fugas en la red , Fred, se calcula como sigue:

$$Fred = Ft - Fdomic$$

donde :

Fdomic es el volumen total de pérdidas por fugas en conexiones domiciliarias, obtenido por muestreo y aforo.

II.3.5 Evaluación de fugas en tomas domiciliarias

La evaluación de fugas en las tomas domiciliarias se realiza mediante un muestreo aleatorio simple estratificado; que consiste básicamente en determinar la cantidad total de agua que se pierde en la ciudad a través de estas tomas, así como sus causas y tendencias de ocurrencia.

II.3.5.1 Trabajos preliminares

II.3.5.1.1 Información de partida

La información que sirvió de partida para hacer la evaluación de fugas en las tomas domiciliarias de la ciudad de Guaymas, Sonora fue la siguiente:

- a. Padrón de usuarios de tomas domiciliarias.
- b. Plano de la red de agua potable.
- c. Plano de la Cd.
- d. Estadísticas de ocurrencia de fugas en la red y en las tomas domiciliarias (2 meses mínimo).
- e. Funcionamiento de la red para la distribución de agua.

Con estos datos se encontró el número total de tomas distribuidas en el número de sectores.

II.3.5.1.2 Obtención de la muestra.

La cuantificación del gasto que se pierde por fugas en tomas domiciliarias, se realizó mediante dos muestreos estadísticos estratificados con proporciones. Los muestreos se utilizaron para:

- a) Inspeccionar la ocurrencia de fugas en tomas domiciliarias seleccionadas aleatoriamente, y
- b) Excavar tomas domiciliarias con fugas, para aforarlas y reportar las causas que la produjeron, también seleccionadas aleatoriamente.

Los resultados por sectores y el procedimiento de muestreo se presentan en el cuadro 2.7 de donde se obtuvieron los tamaños de la siguientes muestras:

- Muestra "A" igual a 225 tomas por inspeccionar (Nivel de confianza del 95 % y error del 5 %).
- Muestra "B" igual a 241 tomas por aforar (Nivel de confianza del 91 % y error del 5 %).

II.3.6 Trabajos de campo

Los trabajos de campo se realizaron de la siguiente forma:

Por un lado, se inspeccionaron las 225 tomas domiciliarias, para definir en cada sector los porcentajes de conexiones con fuga.

Por otro lado, se excavaron, aforaron y levantaron censos de las causas que produjeron las fugas en 241 tomas dañadas. El objetivo fue determinar el gasto promedio que se pierde por fuga en cada toma domiciliaria que sufre daño, para determinar con este gasto los volúmenes totales perdidos en toda la ciudad, con el total de conexiones que presentan dichos daños.

II.3.6.1 Inspección de fugas en tomas domiciliarias.

La inspección de las tomas se hizo a través de un método indirecto basado en medición de presiones de agua en el domicilio seleccionado y en tres o cuatro casas contiguas a él. Los registros de presiones se realizaron con un manómetro Burdon, conectándolo a la llave de jardín más próxima a la red en cada caso.

De esta forma, si en la toma del domicilio elegido se notaba una caída de presión muy marcada, respecto a las demás tomas contiguas, entonces se anotaba que la toma en cuestión tiene fuga.

II.3.6.2 Excavación y aforo de fugas en tomas domiciliarias.

El aforo de las 241 tomas se realizó en un periodo de 3 meses. El procedimiento de aforo se hizo de dos maneras:

a).-Una, la más simple, con un recipiente graduado y un cronómetro, midiendo directamente el volumen contra el tiempo en tomas que están instaladas superficialmente (tomas jaladas).

b).-La otra, con un método indirecto desarrollado en el IMTA que consiste en medir el gasto en la llave del jardín más próxima a la calle antes de excavar y reparar la fuga, cuidando que no exista ninguna otra llave abierta en la casa, después se repara la fuga y se vuelve a medir el gasto por la misma llave, de tal manera que la diferencia entre estos dos gastos es el correspondiente al gasto que se fuga.

Este procedimiento es válido ya que el tiempo de reparación oscila normalmente entre 10 a 15 minutos, y en este periodo no hay mucha variación de presión en la línea.

Adicionalmente, se realiza un aforo después de excavar y antes de reparar la fuga, para observar la influencia que tiene en la pérdida de agua

II.3.7 Resultados estadísticos**II.3.7.1 Ocurrencia de fugas**

Con los datos de campo de las 225 tomas inspeccionadas se determinaron por sector los porcentajes de las tomas en las que se detectó la ocurrencia de fugas.

Después de estos valores se infirieron hacia el total de tomas domiciliarias de la población, multiplicando los porcentajes por el número de conexiones existentes en cada sector. De acuerdo al muestreo, estos resultados se obtienen con un nivel de confianza del 95% y un error de estimación del 5%.

Finalmente se construyeron los diagramas de las figuras 2.3, 2.4, y 2.5 en donde se muestran en forma esquemática las estadísticas de ocurrencia de fugas, respecto al tipo de tubería, tipo de fuga y lugar donde ocurre.

Figura 2.3 Estadística de ocurrencia de fuga por tipo de tubería en tomas domiciliarias

SECTOR	TOMAS AFORADAS	TIPO DE TUBERÍA		
		Poliducto	Cobre	Fierro Galvanizado
1	1	1	0	0
2	11	13	0	1
3	3	3	0	0
4	24	22	1	1
5	10	9	1	0
6	7	6	1	0
7	22	22	0	0
8	17	17	0	0
9	11	11	0	0
10	33	32	1	0
11	50	48	2	0
12	14	14	0	0
13	10	9	0	1
14	16	15	1	0
15	12	12	0	0
TOTAL	241	231	7	3

Figura 2.4 Estadísticas de la ocurrencia de fugas por tipo de fuga en toma domiciliaria

SECTOR	TOMAS AFORADAS	TIPO DE FUGA	TIPO DE FUGA	TIPO DE FUGA	TIPO DE FUGA
		Rajadura	Perforada	Corte o rotura	Rosca floja
1	1	1	0	0	0
2	11	9	1	0	1
3	3	3	0	0	0
4	24	20	2	2	0
5	10	7	1	2	0
6	7	5	1	1	0
7	22	19	2	1	0
8	17	15	0	2	0
9	11	8	1	2	0
10	33	29	1	3	0
11	50	43	3	3	1
12	14	12	0	2	0
13	10	9	0	1	0
14	16	10	1	4	1
15	12	11	0	1	0
TOTAL	241	201	13	24	3

Figura 2.5 Estadísticas de la localización de la fuga en tomas domiciliarias

SECTOR	TOMAS AFORADAS	LUGAR DONDE SE LOCALIZA LA FUGA EN LA CONEXIÓN			
		INSERCIÓN	NIPLE	TUBERÍAS	CODOS
1	1	0	0	1	0
2	13	0	0	11	0
3	3	0	0	3	0
4	24	1	0	21	0
5	10	0	0	10	0
6	7	0	0	7	0
7	22	0	0	22	0
8	17	0	0	17	0
9	11	0	0	11	0
10	33	0	0	33	0
11	50	1	0	49	0
12	14	1	0	13	0
13	10	0	0	9	1
14	16	1	0	15	0
15	13	0	0	12	0
TOTAL	241	4	0	236	1

II.3.7.2 Volúmenes de fugas

Con los datos de aforos en 241 conexiones excavadas, el número total de tomas que presentaron fugas (cuadro 2.8) y el programa del funcionamiento hidráulico de la red de distribución, se calculó el volumen de agua que se pierde por fugas en tomas domiciliarias. Los gastos de fugas resultantes del aforo de tomas se promediaron por sector, y cada uno de estos valores se multiplicó por el número total de conexiones que tuvieron fuga en ese sector, obteniéndose con ello el gasto total de fuga de cada sector (cuadro 2.9). Al sumar todos los gastos totales de los sectores se obtuvo que el gasto perdido en la ciudad de Guaymas, Sonora, por fugas en tomas domiciliarias es de 146.5 l/s, considerando que el gasto de suministro es continuo.

Cuadro 2.8 Tomas domiciliarias inspeccionadas por sector midiendo presiones en tomas domiciliarias

SECTOR	NÚMERO DE TOMAS	TOMAS CON FUGA	TOMAS SIN FUGA	TOMAS CON FUGAS (%)
1	1	0	1	0.00
2	12	5	7	41.67
3	1	0	1	0.00
4	21	3	18	14.28
5	12	3	9	25.00
6	12	2	10	16.67
7	8	2	6	25.00
8	8	2	6	25.00
9	23	7	16	30.43
10	26	11	15	42.30
11	16	10	6	62.50
12	9	3	6	33.33
13	12	3	9	25.00
14	32	5	27	15.63
15	29	12	17	41.38
TOTAL	222	109	113	49.10
PROMEDIO POR SECTOR	14.80	7.27	7.53	26.55

Si se considera que el suministro es interrumpido dos o tres días para algunas zonas de la ciudad, según sea el programa de funcionamiento hidráulica (tandeos), entonces el valor de las pérdidas por fugas en tomas domiciliarias se modifica como se indica en el cuadro 2.10 resultando en este caso un gasto total de fuga de 114.25 l/s.

Cuadro 2.7 Muestra por inspeccionar

$$n_o = \left(\frac{Z_c^2}{N d^2} \right) \left(\sum_{i=1}^{15} n_i P_i (100 - P_i) \right) \quad \text{Tamaño de la muestra.}$$

$$n_o = \left(\frac{(1.96)^2}{(17419 \times 5^2)} \right) \left((104 \times 70 (100-70) + 1011 \times 29 (100-29) + \dots + 247 \times 11 (100-11)) \right)$$

$$n_o = 225$$

$Z_c = 1.96$ (Área bajo la curva normal de probabilidades para 95% de confianza)

$N = 17419$

$d = 5\%$ corresponde al error en la estimación.

De la encuesta se obtiene el $Y\%$ de fugas en tomas, por lo tanto, el $\%$ para cada estrato se calcula como:

$$P_i = (Y) \times (\text{No. de fugas del sector} / \text{No. de tomas del sector}) \times 100$$

Ejemplo:

Sector no. 1

$$P_1 = 0.89 \times (82/104) \times 100 = 70$$

Sector no. 15

$$P_{15} = 0.89 \times (286/2247) \times 100 = 11$$

Cálculo del tamaño de la muestra.

$$n_o = \left(\frac{(1.96)^2}{(1741 \times 5^2)} \right) \left(\begin{aligned} &104 \times 70 (100-70) + 1011 \times 29 (100-29) + 52 \times 68 (100-68) + \\ &1965 \times 20 (100-20) + 718 \times 13 (100-13) + 755 \times 20 (100-20) + \\ &968 \times 14 (100-14) + 925 \times 20 (100-20) + 1258 \times 12 (100-12) + \\ &1926 \times 29 (100-29) + 1167 \times 25 (100-25) + 725 \times 36 (100-36) + \\ &1065 \times 10 (100-10) + 2731 \times 16 (100-16) + 2247 \times 11 (100-11) \end{aligned} \right)$$

$$n_o = 225$$

Distribución de la muestra por sectores :

$$n_i = (N_i/N) \times n_o.$$

$$\text{Sector no.1} \quad n_1 = (104/17419) \times 225 = 1.34 \text{ Aprox.} = 1.$$

$$\text{Sector no.15} \quad n_{15} = (2247/17419) \times 225 = 29.02 \text{ Aprox.} = 29$$

Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

SECTOR	TOTAL DE FUGAS ANUAL	Pi	TAMAÑO DE LA MUESTRA
1	82	70	1
2	326	29	13
3	40	68	1
4	387	20	23
5	104	13	9
6	174	20	10
7	152	14	13
8	206	20	12
9	170	12	16
10	636	29	25
11	329	25	15
12	295	36	9
13	123	10	14
14	480	16	35
15	286	11	29

Muestras de tomas por aforar = 241.

Este último resultado se obtuvo aplicando la teoría de muestreo aleatorio simple estratificado con proporciones con un nivel de confianza del 91 % y un error en la estimación del 5 % determinado de la siguiente forma:

$$n_o = (Z_c / N_d) (N_p (100 - p))$$

donde "p" es el promedio de los porcentajes de tomas que resultaron con fugas durante los trabajos de inspección.

$$p = 30.63$$

$$d = 5 \%$$

$$N = 17,419$$

$$n = 241$$

$$Z_c = 1.70$$

En la tabla de áreas de curvas normales de probabilidad se obtiene el 91 % de nivel de confianza.

Cuadro 2.9 Gasto total de fugas en tomas domiciliarias de cada sector

SECTOR	PRESIÓN MEDIA (Kg/cm ²)	NÚMERO DE TOMAS	TOMAS AFORADAS	TOMAS CON FUGA (%)	GASTO DE FUGA (l/s)	GASTO TOTAL DE FUGA (l/s)
	1.53	104	1	0.00	0.0000	0.00
12	1.03	1011	11	41.67	0.0338	14.25
	0.70	52	3	0.00	0.0000	0.00
3	1.14	1765	24	14.28	0.0188	4.76
45	1.41	718	10	25.00	0.0452	8.13
6	1.26	757	7	16.67	0.2950	3.73
7	1.53	968	22	25.00	0.0401	9.73
8	0.85	925	17	25.00	0.0204	4.92
9	0.55	1258	11	30.43	0.0110	4.23
10	1.10	1926	33	42.30	0.0200	16.30
11	0.87	1167	50	62.50	0.0175	12.81
12	0.94	725	14	33.33	0.0245	5.93
13	1.62	1065	10	25.00	0.0474	12.63
14	1.67	2731	16	15.63	0.0419	17.90
15	1.08	2247	12	41.38	0.0337	31.42
TOTAL					146.5 l/s	

Cuadro 2.10 Volúmenes perdidos por fugas en las tomas domiciliarias (m³), de acuerdo al programa de operación hidráulica de la red (tandeos)

Sector	Tandeo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
1	No	0	0	0	0	0	0	0
2	No	1231	1231	1231	1231	1231	1231	1231
3	No	0	0	0	0	0	0	0
4	No	411	411	411	411	411	411	411
5	No	702	702	702	702	702	702	702
6	Si	134	0	134	0	134	0	0
7	No	840	840	840	840	840	840	840
8	No	408	408	408	408	408	408	408
9	No	365	365	365	365	365	365	365
10	Si	587	0	587	587	0	587	0
11	No	1107	1107	1107	1107	1107	1107	1107
12	Si	0	213	0	0	213	0	0
13	Si	455	0	455	445	0	455	0
14	No	1546	1546	1546	1546	1546	1546	1546
15	No	2714	2714	2714	2714	2714	2714	2714

II.3.8 Micromedición

II.3.8.1 Evaluación de sub y sobremedición

La sub y sobremedición se refiere a la cantidad de agua que registra el micromedidor domiciliario de menos y de más, respectivamente.

La evaluación de la sub y sobremedición se realizó por verificación "in situ" de una muestra de micromedidores seleccionada aleatoriamente.

II.3.8.1.1 Trabajos preliminares

El primer paso en los trabajos es el de obtener la información contenida en el padrón de usuarios y sus correspondientes estadísticas de consumos mensuales, completando la información con las tarjetas de "altas" que tiene el departamento comercial

Adicionalmente, se clasifican los micromedidores atendiendo a su rango de funcionamiento (inferior, normal y superior).

Se actualiza el padrón de usuarios conteniendo los datos siguientes:

- Sector.
- Número, nombre y dirección de cada usuario.
- Modelo de micromedidor y estado (funcionando o descompuesto)
- Rango de consumo (inferior, normal o superior)

Con la información anterior se procede a determinar el tamaño de la muestra de los micromedidores que se verificaron en campo. Este cálculo se realiza por medio de la teoría del muestreo estratificado simple. El procedimiento y los resultados por modelo de micromedidor y rango de consumo obtenidas por la ciudad de Guaymas, Sonora se presentan en el cuadro 2.12. Se considera que un estrato corresponde a un modelo de micromedidor y a un rango de consumo; es decir, tres muestreos, uno por cada modelo de micromedidor y por cada muestreo tres estratos, uno por cada rango de consumo.

Cuadro 2. 11 Cálculo de límites de funcionamiento de micromedidores de acuerdo al consumo

a) Micromedidor funcionando

En el límite inferior =

$(Q_{\text{nominal}}) \times (5\%) \times (\text{No. de horas consumo al día}) \times$
 $(\text{No. horas funcionando}).$

b) Micromedidor funcionando

En el límite superior =

$(Q_{\text{nominal}}) \times (100\%) (\text{no. de horas consumo al día}) \times$
 $(\text{No. de días de funcionando}).$

c) Micromedidor funcionando

En el límite normal =

Corresponde al intervalo entre los dos anteriores.

Cuadro 2.11 Cálculo de límites de funcionamiento de micromedidores de acuerdo al consumo.

S e c t o r	T a n d e o	Zona socioe- conómica	No. de días funcionando por mes	No. de horas diarias de consumo.	Límite 2 m ³ /h			Límite 3 m ³ /h		
					Infe- rior.	Normal.	Superio- rior	Inferio r	Normal.	Superio- rior.
1	No	Media (com.)	30	11.5	34.5	34.5-690	690	51.8	51.6-1035	1035
2	No	Baja.	30	7	21.0	21.0-420	420	31.5	31.5 - 630	630
3	No	Media (conte)	30	11.5	34.5	34.5-690	690	51.8	51.8-1035	1035
4	No	Media (centro)	30	11.5	34.5	34.5-690	690	51.8	51.8-1035	1035
5	No	Media	30	11.5	34.5	34.5-190	690	51.8	51.8-1035	1035
6	Si	Baja.	12	11.5	13.8	13.8-276	276	20.7	20.7 - 414	414
7	No	Baja.	30	7	21.0	21.0-420	420	31.5	31.5 - 630	630
8	No	Baja	30	7	21.0	21.0-420	420	31.5	31.5 - 630	630
9	No	Baja, alta.	30	7	21.0	21.0-420	420	31.5	31.5 - 630	630
10	Si	Baja.	8	8.5	6.8	6.8-136	136	10.2	10.2 - 204	204
11	No	Baja.	30	7	21.0	21.0-420	420	31.5	31.5-630	630
12	Si	Baja.	8	7	5.6	5.6-112	112	8.4	8.4 - 168	168
13	Si	Baja.	8	7	5.6	5.6-112	112	8.4	8.4 - 168	168
14	No	Alta, media.	30	10.5	31.5	31.5-630	630	47.3	47.3 - 943	943
15	No	Baja.	30	7	21	21.0-420	420	31.5	31.5 - 630	630

II.3.8.1.2 Desarrollo de trabajo de campo

Se estableció el no. total de micromedidores verificados en campo. Adicionalmente, se realizó una sustitución de 40 micromedidores instalados en la ciudad por 40 nuevos, con el fin de evaluar los errores de instalación en el laboratorio.

II.3.8.1.3 Verificación de micromedidores

Las pruebas se realizan inmediatamente después del micromedidor, midiendo el volumen en un recipiente calibrado y reportando las lecturas del aparato y del recipiente, con las que se calcula los volúmenes que pasan por dicho micromedidor en un cierto tiempo.

II.3.8.1.4 Sustitución y pruebas a micromedidores instalados.

La sustitución y pruebas a micromedidores instalados (40) se lleva a cabo para determinar qué porcentaje de error del micromedidor corresponde a una mala instalación. Dicha sustitución se realiza aleatoriamente en distintos puntos de la ciudad y con diferentes dimensiones de micromedidores. Antes de realizar el cambio, se toman lecturas semanales durante un mes, y ya instalados los nuevos, se realiza la toma de lecturas en el siguiente mes. Esto se hace con el fin de evaluar el error en el dimensionamiento de los micromedidores de la ciudad. las pruebas en el laboratorio se realizan con base en la Norma Oficial Mexicana DGN-CH1968 y con el banco de pruebas que actualmente se encuentra en el IMTA.

II.3.8.2 Resultados

Con los reportes de las pruebas de verificación se obtienen los resultados de exactitud de los micromedidores, para lo cual es necesario hacer un programa en computadora que realiza el cálculo de los errores y gastos de sub y sobremedición por sectores, y crea los archivos para hacer las gráficas de errores contra porcentaje de gasto nominal.

II.3.8.2.1 Estadísticas de consumo

Las estadísticas de consumo se realizan con los datos de consumo mensuales que aparecen en el padrón de usuarios actualizado. En donde se ilustran distintas maneras, ya sea por rangos de funcionamiento de los micromedidores, por modelo de micromedido, etc.

II.3.8.2.2 Errores de exactitud y gasto de pérdidas

Los errores promedio de exactitud y gasto de pérdidas se presentan en el cuadro 2.13, para cada micromedidor verificado en campo se promedian los datos de errores correspondientes al rango de funcionamiento en el que está trabajando el aparato.

Los valores de sub y sobremedición representativos, obtenidos en las verificaciones, se infieren hacia la población total, dando como resultado las pérdidas comerciales por mala medición domiciliaria en los diferentes sectores de la ciudad.

Cuadro 2.12 Verificación de micromedidores (cálculo del tamaño de la muestra)

1. Opción global por números de micromedidores por modelo

N = No. total de micromedidores = 2,962

Ecuación no. = $(Zc^2 / Nd^2) \{ N, P_1(100-P_1) + N_2 P_2(100-P_2) + \dots + N_i P_i(100-P_i) \}$

$Zc = 1.96$ Nivel de confianza 95 %

$d = 5\%$ Error de estimación .

P_i = Porcentaje de número de micromedidores de un modelo.

N_i = Número de micromedidores de un modelo.

N_1 = Azteca 3VM = 807 piezas.

N_2 = Delaunet MD15 = 2127 piezas.

N_3 = Delaunet UD15 = 28 Piezas.

$P_1 = (807 / 2962) = 27\%$; $P_2 = (2127 / 2962) = 72\%$; $P_3 = (28 / 2962) = 1\%$

Por rango de funcionamiento:

$N = N_1 + N_2 + N_3$

$N = 1235 + 1711 + 16$

$P_1 = (1235/2962) = 42\%$; $P_2 = (1711/2962) = 57\%$; $P_3 = (16/2962) = 1\%$

$no = \{ (1.96^2) / (2962 \times 5^2) \} \times \{ (1235)(42)(100-42) + (1711)(57)(100-57) + (16)(1)(100-1) \} = 373$

$n = no / ((1 + no)/n) = 373 / ((1 + 373)/2962) = 331$ Se consideran 350 piezas por si algún micromedidor se encontraba descompuesto durante la verificación

Distribuidos por la forma siguiente:

Rango inferior	= $(0.42) (350) = 147$ piezas.
Rango normal	= $(0.57) (350) = 200$ piezas
Rango superior	= $(0.01) (350) = 3$ piezas.
Total	= 350 piezas

El número por marca y modelo se determina aplicando los porcentajes correspondientes:

$$\begin{aligned} \text{Azteca 3VM} &= (147)(0.27) + (200)(0.27) + (3)(0.27) = 95 \text{ pzas.} \\ \text{Delaunet MD15} &= (147)(0.72) + (200)(0.72) + (3)(0.72) = 252 \text{ pzas.} \\ \text{Delaunet UD15} &= (147)(0.10) + (200)(0.10) + (3)(0.10) = 3 \text{ pzas.} \end{aligned}$$

$$\text{Total} = 350 \text{ pzas.}$$

II.3.8.3 Impacto de la micromedición

El impacto de la micromedición tiene como objetivo determinar si es necesario instalar medidores en las zonas de bajo consumo o donde no existan estos aparatos.

Para evaluar el impacto de la micromedición en la ciudad, se instalan micromedidores ocultos, en una primera etapa y en una segunda, instalarlos visiblemente, en los mismos domicilios de los primeros.

II.3.8.3.1 Trabajos de campo

La instalación de los micromedidores ocultos y visibles se hizo en tres diferentes estratos sociales: clase alta, clase media y clase baja; seleccionándose los lugares donde no existen aparatos

II.3.8.3.2 Información y muestreo.

Con la información que proporciona el organismo operador con los antecedentes de los estratos sociales predominantes en la ciudad, se obtiene lo siguiente:

- Una relación de las colonias y fraccionamientos, desglosada por estratos socioeconómicos.
- Un plano de la ciudad, con la ubicación de las colonias y fraccionamientos.

Cuadro 2.13 Estratificación de las clases

ESTRATO SOCIAL	NO. DE COLONIAS	NO. DE FRACC.	SUMA PARCIAL	EN (%)
Clase alta	3	5	8	19.05
Clase media	7	3	10	23.81
Clase baja	21	3	24	57.14
Totales	31	11	42	100.00

Después de obtener la estratificación de las clases sociales anteriormente descritas, con sus respectivos porcentajes, y considerando que se disponen de 20 micromedidores nuevos calibrados en el laboratorio, se aplica el porcentaje correspondiente a cada estrato a los 20 aparatos, por lo cual queda la siguiente distribución:

CLASE	PROPORCIÓN EN %	NO. DE MEDIDORES A INSTALAR POR ESTRATO SOCIAL
Alta	19.05	4
Media	23.81	5
Baja	57.14	11
Totales	100.00	20

Finalmente se localiza en el padrón de usuarios las tomas que no tienen medidor y se selecciona al azar el sitio donde se instalarán estos micromedidores.

II.3.8.3.3 Instalación de micromedidores ocultos.

Después de haber instalado los 20 micromedidores en las diferentes clases sociales, se registran las lecturas de ellos cada 15 días, durante un periodo de 2 meses, para obtener los consumos y compararlos posteriormente con los de los micromedidores visibles

II.3.8.3.4 Instalación de micromedidores visibles

Una vez terminado el periodo de los dos meses para registrar las lecturas de los micromedidores ocultos, se procede a instalarlos visiblemente, informándole al usuario que a partir de esa fecha tendrá que pagar de acuerdo a las lecturas del micromedidor.

Análogamente a los ocultos, también se registran las lecturas de los micromedidores visibles, cada 15 días durante dos meses para determinar si se recupera el agua con el efecto de la instalación de micromedidores.

II.3.8.4 Resultados

II.3.8.4.1 Comportamiento de usuarios en el ahorro del agua

De las 20 instalaciones que se hicieron, únicamente se tienen resultado de 19 tomas, porque un medidor sufrió daños de atoramiento en la relojería, por la entrada de partículas de arena y la mala calidad del agua del abastecimiento.

En resumen de la diferencia de consumos por estrato socioeconómico, registrados antes y después de hacer visibles los micromedidores se presenta en el cuadro 2.14. Se observa que se recuperaron 382 m3/mes, lo que representa el 14.12% del total registrado durante los dos meses de prueba.

Cuadro 2.14 Obtención del consumo recuperado durante 61 días

TIPO DE CLASE	MEDIDORES OCULTOS (m3)	MEDIDORES VISIBLES (m3)	DIFERENCIA EN (m3)	RECUPERADO EN (%)
Alta	147.12	212.69	+ 65.57	+ 45
Media	883.05	421.21	- 461.84	- 52
Baja	513.42	527.58	+ 14.16	+ 3
Totales	1, 543.59	1, 161.48	382.11	
Consumo recuperado		382.11 (m3)	14.12 %	
Consumo medido		2, 322.96 (m3)	85.88%	

Para obtener el consumo total recuperado en toda la ciudad se utilizó la información estadística del número total de tomas registrado en la ciudad de Guayas, Sonora, así como un reporte de los consumos a nivel mensual. En el cuadro 2.15 se describe el procedimiento para determinar el volumen recuperado y en el cuadro 2.16 se presenta la recuperación global de agua mensualmente, si se instalaran micromedidores en todas las tomas domiciliarias que tienen micromedidor descompuesto y que no tienen dicho aparato.

Tabla 2.16 Recuperación global de agua mensualmente

DATO ESTIMADO POR EL ORGANISMO OPERADOR	DATO CALCULADO
Consumo total estimado en m3/Mes	Reducción del consumo estimado en m3/Mes
441, 506	288, 131.05

Cuadro 2.15 Cálculo de consumo recuperado

DATOS DEL MUESTREO

- | | | | |
|-----|-----------------------------|---|----------------|
| 1.- | Número de tomas muestreadas | = | 19 sin medidor |
| 2.- | consumo recuperado | = | 382.11 m3/mes |

DATOS ESTADÍSTICOS

- | | | | |
|-----|--|---|--------|
| 1.- | Número de tomas sin medidor | = | 6, 501 |
| 2.- | Número de tomas con medidor descompuesto | = | 7, 826 |

- | | | | |
|-----|--|---|---------|
| 3.- | Número total de tomas sin medidor en Guaymas | = | 14, 327 |
|-----|--|---|---------|

Haciendo las operaciones correspondientes para obtener el consumo recuperado y su importe se procede a lo siguiente:

754 tomas sin medidor x 19 del muestreo	=	16, 326 tomas
más	=	1 toma

Número total de tomas sin medidor	=	14, 327 tomas
-----------------------------------	---	---------------

754 tomas sin medidor x 382.11 m3/mes	=	288, 110.94 m3/mes
más	=	20.11 m3/mes

Consumo recuperado del no. total de tomas sin medidor	=	288, 131.05 m3/mes
---	---	--------------------

III. MÉTODOS PARA LA DETECCIÓN DE FUGAS

Las fugas de agua en un sistema de distribución, ocasionan pérdidas cuantiosas, esto debido a las causas más frecuentes de fugas estudiadas en el capítulo uno.

Al existir fugas en un sistema de distribución es necesario su detección; se presentarán casos en que será fácil advertir la existencia de una fuga, por ejemplo, al observar agua brotando en el pavimento, pero también se presentarán casos en que por lo permeable del terreno, difícilmente se conocerá la fuga. En este capítulo analizará en forma general algunos de los diferentes métodos de detección de fugas de agua potable.

Dentro de los diferentes métodos con que se cuenta en la actualidad, existen algunos muy costosos que además requieren técnicos especializados así como métodos económicos que no los requieren; los métodos que se describirán en este capítulo son particulares para cada caso y su aplicación dependerá de las circunstancias y características del problema a resolver, así como los recursos económicos con que se cuente.

III.1 Métodos basados en la inspección visual del terreno

III.1.1 Afloramiento del agua en las calles

La inspección visual del terreno u observación directa difícilmente puede ser llamado un método, sin embargo se requiere cierta práctica para poder detectar si algún escurrimiento en la calle se debe o no a una fuga.

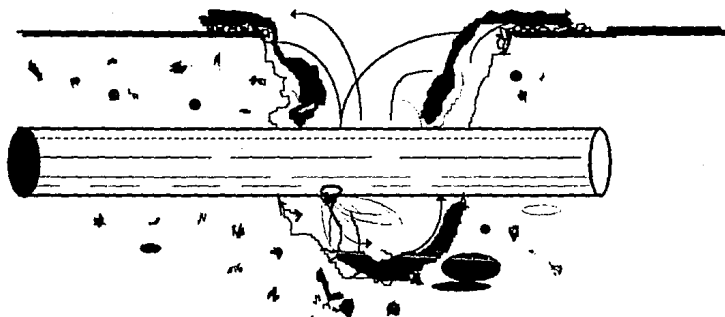
En este caso, al ver agua escurriendo en alguna calle es fácil suponer que existe alguna fuga, pero aquí interviene la destreza del observador ya que tendrá que verificar la procedencia del escurrimiento siguiendo la línea de fuga aguas arriba hasta localizar el punto de la fuga. En la aparición de escurrimientos en la calle intervienen las condiciones del terreno ya que en un terreno permeable y con una fuga en la parte inferior de la tubería será difícil que la fuga se vea escurriendo en las calles, lo que no sería difícil con un terreno impermeable y rotura en la parte superior de la tubería. Cuando existe la presencia de una fuga el agua ablanda los terrenos y crea la posibilidad de ocasionar rompimientos del pavimento, cuando la calle se encuentra pavimentada.

III.1.2 Ablandamiento del terreno

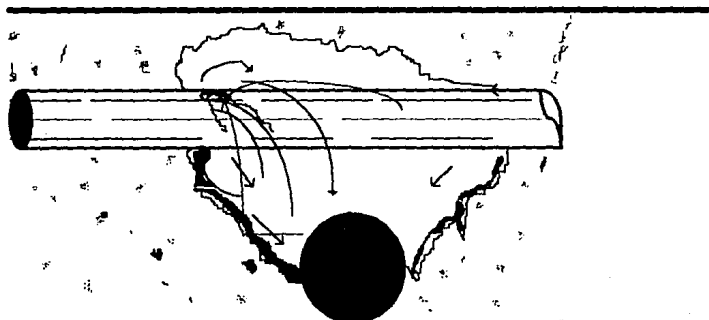
Como se mencionó anteriormente las fugas en las redes de distribución de agua potable producen ablandamientos de los terrenos. Para este caso es necesario la destreza para detectar una fuga ya que las condiciones del terreno son importantes para poder detectar la fuga, por ejemplo, cuando en un terreno duro o semiduro se observa una parte blanda probablemente exista una fuga, sin embargo esta observación solo se puede realizar en zonas rurales donde el terreno no esté pavimentado, cabe mencionar que difícilmente también puede ser llamado un método.

Figura III.1 Fugas de las redes de distribución en terrenos permeables e impermeables

Fuga en un terreno impermeable



Fuga en un terreno permeable



Colector

III.1.3 Inspección de la humedad del suelo

Este procedimiento se puede considerar un método de detección más adecuado y preciso que los anteriores y consiste en inspeccionar el terreno con una varilla metálica y de punta aguda llamada varilla de sondeo; la inspección se realiza enterrando la varilla de sondeo y sacándola enseguida para ser revisada, si la varilla está húmeda o lodosa se ha alcanzado la línea de fuga, desde luego esta inspección no puede realizarse en terrenos pavimentados o terrenos muy duros, ni en época de lluvias, por lo que se puede decir que únicamente tiene aplicación en las zonas rurales.

III.1.4 Aparición de pequeñas corrientes

En algunas ocasiones se presentan pequeñas corrientes en terrenos donde es inusitada su presencia, esto implica que muy probablemente sea una fuga la que haga aparecer estas pequeñas corrientes.

Por otra parte la aparición inusitada de un manantial donde no lo había antes o la desaparición rápida de una mancha de escarcha en la mañana o un trayecto de nieve o hielo derretido pueden indicar presencia de una fuga.

Estos métodos necesitan de técnicos con mayor destreza para realizar la observación del terreno, además de no ser muy precisos ya que el agua no siempre aparece cerca del lugar preciso de la fuga.

III.1.5 Crecimiento frondoso de vegetación en un punto determinado

Al igual que los métodos anteriores, es necesaria la destreza del observador, además de no ser un método que determine con exactitud la localización de la fuga ya que la vegetación no siempre aparece en el lugar donde se produce la fuga.

Este método es de observación visual del terreno y funciona principalmente en terrenos secos o semisecos; si en un terreno seco aparece inesperadamente determinada vegetación no propia del lugar indicará la posibilidad de fuga, también la presencia de vegetación verde en sequías y climas secos dará indicios de posibles fugas.

En algunas ocasiones se presentan incrementos inexplicables del gasto en tuberías del drenaje, flujos excesivos en las alcantarillas, agua corriente en los colectores, etc. esto puede indicar la presencia de una fuga en alguna parte de la red de distribución.

Si se tienen mediciones del gasto en tuberías de drenaje y se realizan nuevas mediciones cuando es notorio el incremento en el gasto, se podrá verificar que se ha infiltrado agua de origen desconocido incrementando el gasto.

Por especificación, las tuberías de agua potable se tienden arriba de las del drenaje, esto por si las tuberías de drenaje presentan fugas y el agua de desecho no se infiltre a las tuberías de agua potable. Por lo tanto si

una tubería de agua potable presenta fuga, posiblemente se infiltre a las tuberías de drenaje e incremente su gasto.

III.2 Métodos basados en la presión interior de la tubería

La medición del flujo es una función esencial en el estudio del agua como material de ingeniería. Puesto que esta determinación comprende principios de hidráulica y mecánica de fluidos que se pueden aplicar a todos los problemas de medición de flujos, es esencial contar con conocimientos teóricos y los métodos y tipos de equipos que se utilizan para medir flujos.

La medición del flujo tiene un valor inestimable para la conservación de uno de los valores materiales mas preciados del hombre. Con la medición del flujo se obtienen datos como la presión, la velocidad, el gasto etc.

III.2.1 Estudios pitométricos

III.2.1.1 Prueba del flujo de hidrantes:

Las pruebas del flujo de hidrantes como se llevan a cabo comúnmente, incluyen:

- Observación de la presión en un hidrante situado centralmente durante la realización de la prueba.
- Medición del flujo combinado con un grupo de hidrantes vecinos, las cargas de la velocidad en los chorros salientes de los hidrantes se miden generalmente mediante tubos pitot.

El bloqueo, es decir el cierre total de una válvula de un tramo de tubería en un sistema de distribución de agua potable y el incremento en las velocidades de uso, por desecho o por fugas puede causar la caída de presión en alguna parte del sistema.

La presión a través del sistema deberá ser determinada agregando medidores de presión a hidrantes y otros lugares deseables. Una presión anormalmente baja indicará un problema entre el punto de baja presión y el punto más cercano de presión normal. Observaciones adicionales de presión, localizan el lugar del problema (fuga de agua) con mayor exactitud.

Una fuga con estudios pitométricos puede detectarse de la siguiente manera:

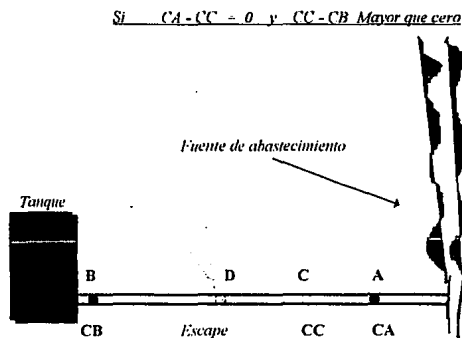
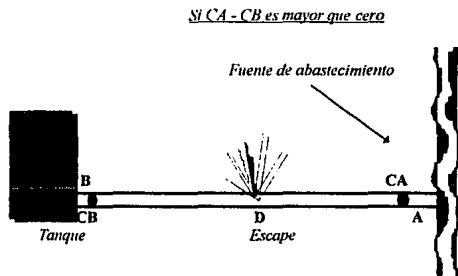
El sistema consiste en colocar dos pitómetros simultáneamente, en los puntos A y B, como se muestran en la figura III.2, correspondiente al principio y final de la línea, la diferencia entre los valores del consumo CA y CB, puede ser mayor o igual a cero; en el primer caso hay escape de agua y en el segundo es normal. La localización puede hacerse por medio de un tercer taladro, en el punto C, intermedio, entonces la fuga se encontrará en D.

$$CA - CC = 0$$

$$CC - CB \neq 0$$

Así se puede continuar por eliminación hasta encontrar el sitio de fuga.

Figura III.2 Sistema pitométrico



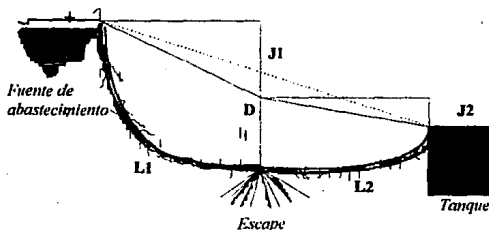
III.2.1.2 Cambio de la pendiente piezométrica

El sistema consiste en tomar presiones y determinar el perfil de la línea piezométrica.

Si el diámetro es uniforme y el escape está en D, deberá tenerse:

J_1/L_1 Mayor que J_2/L_2 entonces la fuga de agua estará localizada donde cambie la pendiente piezométrica.

Figura III.3 Pendiente piezométrica



D = Punto del cambio de pendiente

III.2.2 Golpe de ariete

La aplicación del golpe de ariete para localizar una fuga en una red de distribución de agua potable, requiere de ciertas condiciones favorables: un largo tramo de tubería sin ramales importantes; una válvula abierta sobre la línea hasta que la velocidad del flujo llegue a ser constante y entonces la válvula sea repentinamente cerrada.

Se registra el instante en que la válvula se cierra, así como la presión en la tubería. La onda de presión causada por el golpe de ariete viajará a lo largo de la tubería hasta el punto donde ocurra la fuga y donde una parte de la onda de presión será disipada; la onda de presión disminuida viajará entonces de regreso hasta el medidor de presión en la válvula y se observará una caída de presión, entonces la onda ha viajado dos veces la distancia entre la fuga y la válvula.

La velocidad de movimiento de la onda de presión se muestra en la siguiente ecuación:

$$D = TV / 2$$

Donde:

D = Distancia a la fuga (Ft).

T = Tiempo en segundos (s) para que la onda de presión regrese a la válvula.

V = Velocidad de viaje de la onda de presión (Ft/s)

III.3 Métodos basados en interpretaciones acústicas

III.3.1 Varilla metálica

Este método puede tener variantes, como la de usar la varilla únicamente para inspeccionar la humedad del suelo, ya mencionado anteriormente.

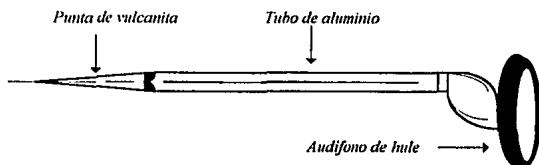
El método anterior puede variarse hasta tocar el lomo de la tubería y colocar el oído en la otra parte de la varilla para escuchar los sonidos que se producen. Un técnico especializado puede distinguir los sonidos que se producen cuando existe una fuga. Esto se realiza en el caso de que no se cuente con aparatos que simplifiquen el trabajo o en el caso de no tener los medios o recursos. Desde luego este método no es muy efectivo, sobre todo si la superficie está cubierta de césped o hierba, ya que este tipo de superficie son deficientes transmisoras del sonido, todo esto partiendo de que las fugas en una tubería de agua potable usualmente producen un sonido peculiar, agujeros pequeños, especialmente en tuberías de acero bajo alta presión, darán altísimos sonidos de frecuencia. Un desperfecto grande en una tubería con gran salida de agua producirá un característico, profundo y rugiente sonido. Si a esta varilla se le conecta un micrófono o algún instrumento simple para amplificar el sonido, este puede hacerse más audible, por ejemplo, un instrumento llamado acúfono, similar a un receptor telefónico sin conexiones eléctricas, este instrumento trabaja como un estetoscopio.

III.3.1.1 Varillas de sondeo

Las varillas de sondeo se utilizan para la localización de fugas. Su funcionamiento es muy sencillo. Se coloca un extremo contra el suelo y el otro contra el oído del operador. El sonido del agua al escapar se puede entonces escuchar. Pueden utilizarse una simple varilla metálica como la antes mencionada o varillas más sofisticadas como la de la figura III.3.1 fabricada por The Palatine Engineering Co. Boote, Nr. Liverpool, England. A estos modelos se les denomina como estetoscopios industriales o hidrófonos.

En el ejemplo de la figura mencionada, la punta inferior está fabricada de vulcanita, la varilla de tubo de aluminio y el audifono de hule. Son fabricados en varios tamaños.

Figura III.3.1 Varilla de sondeo (Hidrófono-Pallatine)



III.3.2 Varilla con micrófono, amplificador y audífonos

Estos equipos están formados principalmente por una varilla de prueba, un micrófono, un amplificador de transistores y unos audífonos. De esta manera pueden ser localizados y fijados los sonidos de fugas de agua en las tuberías, el tipo o tono del sonido varía desde el profundo rugido de una tubería matriz hasta el altísimo chillido de una fuga en la empaquetadura de una válvula. La forma de realizar pruebas con este equipo se hace de la siguiente manera:

Se coloca la punta de la varilla de prueba sobre la parte de la tubería que se va a probar, es necesario raspar un poco con la punta para asegurar el buen contacto, estando ya la varilla firme sobre la tubería, se deprime el interruptor situado encima de la varilla, esto complementa el circuito eléctrico entre el micrófono y el amplificador, posteriormente, se procede a realizar mediciones comparativas en puntos donde se sospeche que hay probabilidades de fugas, entonces donde aumente el sonido se sigue la línea de la fuga; es necesario observar el medidor óptico para verificar el aumento de sonido, si se tenía intensidad de sonido casi nula y de repente se incrementa y después se disminuye, la fuga ha sido localizada en el punto donde se incrementó el sonido (fig. III.4)

Para localizar con precisión la fuga se utiliza el micrófono detector, con este micrófono no se debe utilizar una sensibilidad muy alta, ya que este micrófono es tan sensible que los ruidos de fondo normales como tráfico vial, viento, etc. interferirán enseguida. Para localizar con precisión la fuga, se coloca el micrófono detector, lo más exacto posible, sobre la tubería matriz o sobre otra tubería con puntos de prueba espaciados a 6 Ft como máximo.

Se compara uno con otro todos los sonidos recibidos, el acercamiento a la fuga será reconocido por una mayor intensidad y un aumento del sonido, la intensidad llegará al máximo sobre el mismo punto de la fuga y se reducirá cuando pase la fuga, la lectura del medidor indicará el mismo resultado que la prueba audiovisual.

Los factores que influyen en una detección de una fuga usando la varilla con micrófono, amplificador y audífonos son los siguientes :

A).- Presión de la tubería:

Una presión alta, normalmente da un sonido alto, generalmente, se puede considerar que una presión de una atmósfera es suficiente para localizar una fuga.

B).- Material de la tubería:

Se debe tener el conocimiento del tipo de material de la tubería que se va a probar ya que la transmisión de los sonidos de fuga varía mucho de hierro fundido, al acero y al asbesto-cemento. En las tuberías de asbesto-cemento y tuberías de plástico la conductividad es sumamente deficiente por lo que se recomienda usar otros métodos de detección, al efectuar la localización preliminar, la eficiencia de la varilla de prueba será disminuida por falta de transmisión de sonido de agua corriendo.

C).- Tipo de suelo:

El estado de la capa que cubre la tubería influirá especialmente en la detección del sonido de la fuga. Un suelo duro tiene mayor eficiencia para la transmisión del sonido y por lo consiguiente tiene mayor resonancia que los suelos blandos (barrosos o con césped); otro tipo de suelo que es excelentes transmisor de sonidos es la arena compactada y suelo pedregoso.

Por otro lado, la transmisión del sonido bajo suelos congelados es tan eficiente que resulta muy difícil localizar el máximo punto más alto ya que una gran parte del suelo congelado estará vibrando.

D).- Capa superficial:

La superficie de los alrededores puede influir mucho en la detección. Para localizar con precisión es necesario localizar las superficies sobre las cuales se va a colocar el micrófono detector. Un cambio en el tipo de superficie (de césped a asfalto por ejemplo) o de un medio a otro, puede causar una evaluación contradictoria de la prueba; a veces esto puede originar tantas diferencias de sonido que podría tornarse imposible una comparación real de sonidos para detectar fugas.

E).- Horas de trabajo:

La elección para efectuar las pruebas, ya sea de día o de noche, depende mucho de las condiciones locales. En distritos rurales sería imposible trabajar de noche (por falta de los servicios primordiales, como alumbrado, etc.), en distritos con mucho tráfico, ruidos, máquinas o fábricas se debe trabajar en horas vespertinas o de noche. Otro hecho importante de trabajar de noche, es que el consumo de agua es mucho menor.

III.3.2.1 Detector de fugas Fisher LT-10 y LT-15

Estos instrumentos son fáciles de operar pero se necesita suficiente experiencia de campo para aprovechar las bondades del instrumento. Se utilizan normalmente dentro de las casas, ya que son muy susceptibles al ruido, por lo que no son recomendables para ser utilizados en las calles, a menos de que prevalezcan condiciones de quietud y silencio muy buenas.

III.3.2.1.1 Principio de operación

El agua al escapar a través del orificio de un tubo genera dos tipos de sonido: el primero se genera en el tubo y el segundo en el material que lo rodea. Estas dos fuentes de sonido generan ondas sonoras hacia afuera en círculos concéntricos, en forma similar a las olas que se generan cuando se lanza una piedra a un tanque.

Estos instrumentos captan estas ondas y amplifican sus propiedades electroacústicas. La señal amplificada es luego convertida en una señal electrónica que produce una deflexión en el medidor visual y, simultáneamente, reproduce el sonido en los audifonos.

III.3.2.1.2 Localización de fugas

Una vez que el operador ha detectado la señal o carácter de las condiciones del sonido ambiental, se empieza la búsqueda de fugas o del sonido que es "diferente" al sonido ambiental. Para lograrlo el operador debe mantener la misma potencia y sensibilidad para establecer una base común de comparación.

III.3.3 Equipo amplificador de sonido y filtrado

El equipo utilizado en este método funciona de similar manera que el equipo anterior pero con la diferencia de que tiene un amplificador más sofisticado, además de incluir filtrado de sonido para excluir los ruidos de fondo. Esto es, al usar una sensibilidad mas alta abriendo el control de sensibilidad, resulta una amplificación de ruidos de fondo. La posición adicional del control permite introducir en el circuito un filtro de frecuencia para casos de mucho viento, tráfico vial e intensos ruidos de fondo (Fig. III.5).

El sonido emitido por una fuga puede ser recogido por un delicado cristal y ser amplificado hasta diez mil veces por tubos al vacío o transistores.

Es posible sintonizar el receptor al tono de sonido de la fuga excluyendo sonidos interferentes en el localizador de la fuga. Este localizador es un instrumento muy sensible, el sonido de la fuga se sigue directamente, la efectividad del instrumento se incrementa enormemente, haciendo contactos directos en puntos a lo largo de la tubería, hasta que el sonido pueda ser escuchado sin hacer contacto con ella.

Figura III.4 Detección de fugas con sonido

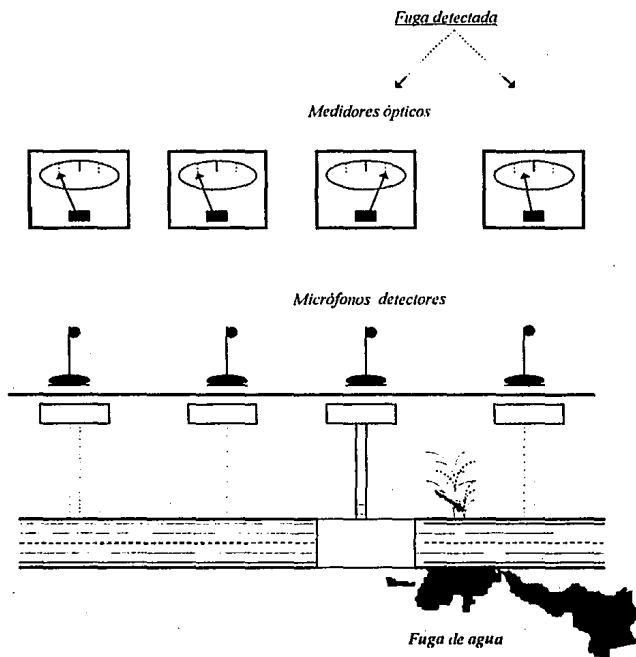
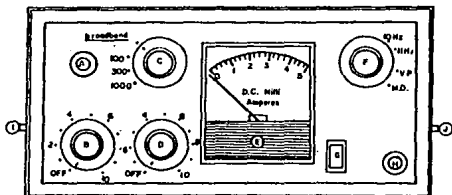


Figura III.5 Consola con sistema de filtrado



- | | |
|--|--|
| A.- BOTÓN DE CONTACTO PARA EL MICROFONO DETECTOR. | F.- CONTROL DE OPERACIONES |
| B.- CONTROL E INTERRUPTOR DE VOLUMEN | G.- INDICADOR DE NIVEL DE BATERIAS |
| C.- CONTROL DE FILTRO | H.- REGULADOR DE 10 KH (NO SE EMPLEA EN LA DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA) |
| D.- CONTROL E INTERRUPTOR P/LOS INSTRUMENTOS (AMPLIFICACIÓN) | I.- ENCHUFE P/LOS AUDÍFONOS |
| E.- MEDIDOR | J.- ENCHUFE P/LA VARILLA DE PRUEBA O ML CRÓFORO DETECTOR |

III.3.4 Equipo de detección de sonido de alta precisión (Acelerómetro)

El detector de fugas con acelerómetro es un sistema ligero y portátil que consiste principalmente en los siguientes elementos: acelerómetro, audífonos y consola.

Es un aparato extremadamente sensible para escuchar sonidos diversos con lo cual es posible detectar las fugas en una tubería. Detecta las ondas de sonido emitidas por la ruptura de la tubería y ha sido diseñado para ser usado independientemente de un vehículo. Una persona puede transportarlo y operarlo fácilmente; por lo tanto, si se sospecha de una fuga la inspección del lugar puede ser llevada a cabo inmediatamente.

El detector de fugas no tiene control de volúmenes natural sino más bien un control automático, lo cual suple la falta de experiencia del operador y previene el daño al oído por sonidos excesivamente altos.

Para determinar la presencia de una fuga, la inspección debe ser realizada de la siguiente manera: primero inspeccionar los hidrantes en el área (un equipo de dos personas puede inspeccionar hasta 90 hidrantes por día), después checar las válvulas de la zona, enseguida de que el detector de fugas ha localizado la fuga se

usa el localizador que proporciona el lugar exacto de la fuga. El detector proporciona una localización general, por lo que se usa el localizador de fugas basado en el principio de la medida de tiempo de transmisión de ondas sonoras, este instrumento está compuesto por los siguientes elementos: Consola de localización de fugas, osciloscópio de lectura, dos consolas detectoras de fugas, dos acelerómetros y audífonos.

El localizador de fugas es un sistema compacto que trabaja con un vehículo y un equipo de dos personas puede ser operado en cualquier lugar al que pueda llegar un vehículo, está equipado con una fuente de corriente de 120 Volts.

El procedimiento más frecuente para localizar las fugas con éste equipo es el siguiente (fig. III.6):

- a).- Realizar una inspección del lugar donde exista la posibilidad de fuga con el detector para dar una aproximación general de la fuga.
- b).- Después de que el sonido de fuga halla sido detectado en dos puntos de acceso sobre la tubería, se colocan los acelerómetros en cada punto de acceso, se conectan el acelerómetro, el amplificador y el localizador de fugas.

Las válvulas principales, hidrantes y tomas domiciliarias pueden ser usadas como puntos de acceso.

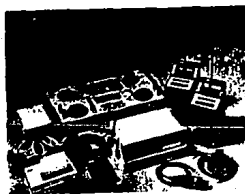
- c).- Se miden y registran las distancias entre los acelerómetros dentro de la máquina del localizador de fugas, ya sea en metros o pies, este puede trabajar efectivamente con distancias medias de hasta 2, 500 Ft.
- d).- Se aprietan los botones de barrido y segundos después la fuga es mostrada en la pantalla del osciloscópio.
- e).- Después de identificar la fuga en la pantalla del osciloscópio la localización precisa es mostrada en la escala digital de la consola.

La distancia de la fuga al acelerómetro seleccionado será dada como si se midiera a lo largo de la tubería.

- f).- Se mide la distancia del acelerómetro seleccionado a la distancia marcada en la pantalla.
- g).- Excavar y reparar.

Algunos instrumentos de sonido altamente sofisticados se han desarrollado usando técnicas de dilación (retardo) de sonido, análisis computacional y análisis de ondas de sonido en osciloscópio. Estos métodos son usualmente muy costosos pero deben ser considerados cuando los métodos de sonido convencionales son impracticables.

Figura III.6 Detección con equipo de alta precisión (acelerómetro)



III.4 Métodos que usan indicadores

Cuando los métodos de sonido para la detección de fugas en sistemas de distribución de agua son impracticables, existe la posibilidad de usar otros métodos como por ejemplo, los que usan indicadores tales como :

Óxido nitroso disuelto en agua, sal disuelta en agua, la mezcla de aire con helio, la mezcla de metano con nitrógeno y la mezcla de metano con argón. Estos indicadores son inyectados en las tuberías y por medio de análisis y mediciones proporcionan el lugar de la fuga, cada uno de estos métodos tiene sus ventajas y desventajas ya que por ejemplo unos necesitan que se vacíe el tramo a probar, otros no localizan fugas en el lomo de la tubería y otros son muy costosos. Por lo que a continuación se analizarán de manera general estos métodos.

III.4.1 Óxido nítrico disuelto en agua.

Una de las ventajas del óxido nítrico es que es soluble en el agua, de este modo la línea no tiene que ser desaguada antes de la prueba.

Un detector infrarrojo es muy específico para el óxido nítrico, de tal modo que no causan problemas los gases interferentes cuando se encuentra agua que contiene gas.

Una de las desventajas de este sistema es que el óxido nítrico es más pesado que el aire. Esto significa que las fugas pueden encontrarse únicamente a la profundidad de la tubería maestra, además los gases más pesados que el aire tienen mayor dificultad para ser localizados además de que el equipo es muy costoso.

III.4.2 Sal disuelta en el agua

Una concentración de sal (NaCl) ligeramente incrementada puede ser usada en la detección de una fuga encontrando por análisis químico un incremento en el contenido de cloruro en el agua que probablemente escape de una tubería dentro de la cual fue agregada la sal, la concentración no debe ser tan grande de tal manera que pueda ser detectada por los usuarios.

Otra manera de medir el contenido de sal es por medio de la conductividad eléctrica. Este es un parámetro que mide la salinidad del agua y también es proporcional a los sólidos que contiene, se da en Micromhos por centímetro (M mhos/Cm).

III.4.3 Aire con helio (generalmente 10% de helio y 90% de aire)

Con este sistema la tubería debe ser desaguada antes de que la mezcla de helio y aire sea introducida. El helio tiene la ventaja de tener una molécula extremadamente pequeña y además muy ligera. Esta molécula es detectable por conductividad térmica o sonido comparativo.

Conductividad térmica:

Propiedad natural de los cuerpos que consiste en transmitir calor.

III.4.4 Metano con nitrógeno

Una mezcla del 2.5% de metano con nitrógeno, usando ionización de flama, como detector es un método extremadamente efectivo, debido a que el metano es más ligero que el aire, no requiere de una prueba previa para la localización de la fuga pero, sin embargo, la tubería tiene que ser desaguada, la detección de metano por ionización de flama es posible en el rango de algunas partes por millón (p.p.m.) y aún en bajas concentraciones de metano es detectable fácilmente.

Ionización de flama:

Producción de iones (radical simple o compuesto que se disocia de las sustancias al resolverse estas, y da a las disoluciones el carácter de la conductividad eléctrica) por subdivisión de una molécula en fragmentos electrificados por medio de una flama.

III.4.5 Metano argón

Esta mezcla tiene la ventaja de poseer un componente más pesado y otro más ligero que el aire, el metano es detectable por ionización de flama y el argón por sonido comparativo, actuando como un gas que confirma la localización, puede ocurrir una transferencia con trazadores de metano y helio como un resultado de fugas de gas natural o metano producido en la naturaleza, por lo tanto para la utilización de este método es necesario la inspección previa en el área.

Comparados con las inspecciones por sonido, las inspecciones con trazadores de gas son extremadamente costosas y por lo tanto deberán ser consideradas cuando el sonido sea impracticable.

III.4.6 Otros métodos de detección de fugas

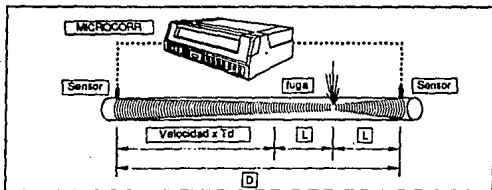
III.4.6.1 Inyección de trazadores radiactivos

En este método se inyecta un trazador radiactivo débil y de vida corta en las tuberías de distribución (tuberías maestras), después se realizan pruebas de radiactividad del agua corriente y del terreno con un contador radiactivo; cuando este marca una radiactividad mayor se habrá localizado la fuga en el punto donde existe mayor concentración de radiactividad. Desde luego el trazador radiactivo debe ser tan débil que no dañe a la naturaleza en general

III.4.6.2 Midiendo la cantidad de agua desalojada por una tubería

Si una tubería tiene fuga tan grande que la vacía en un corto tiempo después que ha sido cerrada, la fuga puede encontrarse permitiendo a la tubería que drene (vacíe), entonces el volumen de agua requerido para llenar la tubería rápidamente deberá ser medido y esta cifra dividida por el área de la sección transversal de la tubería nos dará como resultado la distancia a la fuga.

Figura III.7a Sistema de correlación para detectar fugas de agua



III.5 Correlación

Correlación es una técnica matemática utilizada por equipos fabricados con la más avanzada tecnología electrónica (microprocesadores), destinados a la detección de fugas de sonidos en conductos presurizados, que utilizando la propagación del sonido producido por la fuga, y realizando una relación matemática determinan la posición de ésta.

La correlación significa : "Con o en conjunto de relación", según esta definición literal, un correlador es un instrumento electrónico que mide la relación que existe entre dos valores o más que dependen del tiempo, por lo general señales de tensión eléctrica. La medición se logra por medio de ciertas instrucciones matemáticas que el correlador aplica entre estas señales.

Como resultado matemático el correlador entrega el valor de una diferencia matemática en tiempo "t". El correlador retrasa una señal en relación a otra, a fin de obtener un máximo. Al retrasar el tiempo por un valor de "t", se obtiene una máxima similitud o coincidencia entre ambas señales.

En base a este principio y aplicando instrumentos electrónicos, hoy en día se fabrican diversos equipos portátiles que operan bajo este principio dando obviamente, cada fabricante opciones tecnológicas diferentes que permiten dar mayor precisión al valor obtenido por el equipo correlador.

La localización de fugas empleando la técnica de medición, se basa en la medición (valga la redundancia) y evaluación matemática de las diferencias de tiempo de recorrido con que las ondas acústicas parten de la fuga. Llegan a los puntos de medición o sensorio, es decir cuando existe una fuga en una línea presurizada, ésta genera un sonido que viaja en direcciones opuestas y a la misma velocidad a través de la tubería como se muestra en la figura III.7.

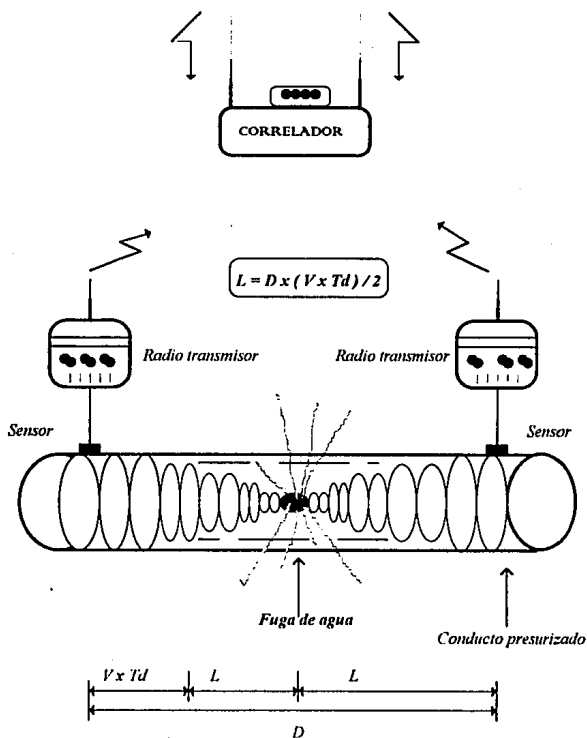
El punto donde se localiza la fuga se calcula en base de la siguiente formula:

$$L = \frac{D \times (V \times T_d)}{2}$$

Colocando los sensores (acelerómetros o hidrófonos) en dos puntos distantes uno del otro de la misma línea donde se inspecciona o se sospecha escape de fluido, estos captarán este sonido y lo enviarán a través de radios transmisores a la unidad correladora. La unidad correladora calcula la posición de la fuga tomando en cuenta la distancia medida entre los sensores y el tiempo de retraso de la llegada del sonido a cada uno de ellos.

La unidad correladora, es una computadora portátil que en base a un menú de opciones autoguiadas, presenta su correcta operación y como resultado final presenta una gráfica donde se observa el espectro del sonido que circula a través de la tubería, e indicará el punto donde se está generando la fuente del sonido propiciado por la fuga, derivación o por una situación anómala en su tránsito como aire en la tubería, válvulas caídas u obstrucciones.

Figura III.7 Propagación del sonido de fuga en conductos presurizados



Donde:

- D = Distancia entre los dos sensores
- L = Posición de la fuga con relación a uno de los sensores
- V = Velocidad del sonido a través de la tubería
- Td = Tiempo de retraso entre las dos señales de ruido

III.5.1 Descripción del equipo.-

La descripción del equipo en forma genérica es aplicable a cualquiera de las marcas existentes la cual se menciona a continuación.

El equipo ha sido diseñado para ser manejado por una sola persona, puede llevarse con comodidad colgado del hombro durante largos periodos. No se requiere de un adiestramiento especial para manejarlo, ya que los complicados cálculos necesarios para detectar y localizar las fugas lo hace automáticamente su computador, y lo único que tiene que hacer el usuario, es introducir una serie de sencillas instrucciones por medio del teclado del instrumento autoguiadas por el equipo. Los datos obtenidos por el computador aparecen en forma alfanumérica y gráficamente en una pantalla.

Los fonosensores pueden ser una pareja de acelerómetros, o una pareja de hidrófonos, o incluso uno de cada clase dependiendo de las condiciones de operación. Los acelerómetros detectan el sonido de la fuga indirectamente, se sujetan por medio de un imán en el exterior de la tubería o a un accesorio de ella convenientemente situado. Los hidrófonos captan el sonido directamente desde el interior del agua. Su mayor sensibilidad a las ondas sónicas, les permiten operar con mayores distancias, mayores diámetros de tubería y con tuberías de material no metálico como el PVC. Se conectan en contacto con el agua que hay en las tuberías en puntos tales como: válvulas de aire, válvulas de inserción, desfuegos, etc.

Para utilizar el detector, se ubican dos sensores a la tubería, en ambos lados del punto donde se sospecha que está la fuga y las conexiones de un sensor se colocan directamente al correlador.

Las señales del sonido de la fuga recogidas por el otro sensor, son transmitidas por radio a un receptor incorporado al correlador.

Indistintamente pueden usarse los radioenlaces para transmitir señales de la fuga desde los dos sensores.

El uso de cables blindados para el enlace de los dos sensores del aparato, es otra opción que puede tomarse cuando existen interferencias o no se tiene comunicación.

Una vez puesto en marcha el aparato, el operador escoge una de las tres opciones básicas de operación, a saber:

Localización de fuga, escucha y reconocimiento.

III.5.2 Localización de la fuga:

Para la localización de la fuga, el operador introduce en el aparato datos de campo tales como, distancia entre sensores, material de que está hecha la tubería, y tipos de sensores utilizados. El aparato inicia entonces, un proceso de correlación automática, representado en la pantalla un punto de máxima correlación, que indica la correlación de la fuga medida desde cada uno de los sensores. Un amplificador permite que secciones determinadas de la tubería que se investiga sean examinadas con la máxima resolución de la pantalla. La memoria del correlador puede almacenar pruebas individuales de correlación para revisión y análisis posterior. Selectivamente los resultados de la correlación pueden grabarse como datos permanentes por medio de una pequeña impresora portátil que puede conectarse al aparato cuando así se requiere.

III.5.3 Escucha y reconocimiento:

Las otras dos opciones de operación, permiten que el aparato sea usado como instrumento de inspección general, moviéndose progresivamente tramo a tramo a lo largo de la red completa de conducción o distribución para tratar de descubrir en primer lugar, si existen escapes y luego usarlo en el modo de localización de fugas para determinar la ubicación exacta de estas.

En la opción de escucha, el aparato no establece correlaciones. En su lugar brinda un servicio análogo al de un detector de fugas convencional permitiendo que el operador utilice un sensor y escuche si hay sonido de fugas por medio de audifonos.

En la acción de reconocimiento, el instrumento correlaciona las salidas de dos sensores igual que en el modo de localización de fugas, pero funciona como información local previamente programada, de modo que no es menester que el usuario introduzca datos.

Si aparece un máximo de correlación indicando la presencia de un sonido de fuga, el usuario puede pasar al modo de localización de fugas, e introducir datos específicos para obtener la ubicación exacta del escape. Si no aparece un máximo de correlación, el operador puede pasar al tramo de tubería siguiente para continuar con la inspección.



IV. EXPERIENCIA EN LA DETECCIÓN DE FUGAS

La experiencia tanto en la detección como el control de pérdidas ha llevado a considerarla como un conjunto armónico de actividades realizadas por un organismo operador del sistema de abastecimiento de agua, destinadas a alcanzar y mantener un nivel en el que los componentes de pérdidas debidas a fugas, rebosamientos, usos clandestinos de agua, desperdicios, consumos operativos, consumos especiales, errores de medición, y errores de estimación sean lo mínimo posible en condiciones de viabilidad técnica, económica, financiera, institucional, política y social.

IV.1 Experiencias obtenidas en México con el equipo de correlación

IV.1.1 Problemática detectada

Los primeros equipos correladores que se utilizaron formalmente en un organismo operador (la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del D.F.), fueron donados por el gobierno de Inglaterra como apoyo a los trabajos de emergencia realizados como consecuencia de los terremotos ocurridos en la Ciudad de México en septiembre de 1985. Desde esa época hasta hoy, no ha existido una verdadera promoción o interés en utilizar este tipo de equipos por causas perfectamente identificables, destacándose dentro de estas causas las que se explican a continuación, las causas que se mencionan fueron identificadas en un estudio del IMTA en el cual se llevaron a cabo diversas visitas realizadas a diferentes organismos operadores del país, así como de empresas paraestatales que operan sistemas de agua, sin ser esta su función principal. Los estados de la República mexicana visitados fueron: Chiapas, Chihuahua, Jalisco, Morelos, Oaxaca, San Luis Potosí, Veracruz, Yucatán, Zacatecas y el Distrito Federal.

IV.1.1.1 Necesidad de realizar altas inversiones para adquirir equipos

Un equipo convencional para la detección de fugas no visibles (geófono o equipo electroacústico), tiene un costo que se aproxima al valor de un equipo correlador; si se toma en consideración los presupuestos tan reducidos que tienen algunos organismos operadores, definitivamente queda descartado (no justificado) el adquirir equipos tan sofisticados.

Por otro lado, la lista de necesidades prioritarias de cada ciudad referente a los servicios de agua potable, generalmente se encuentran encabezadas por acciones tendientes a ampliar la red de servicios o a sustituir la existente.

Sin embargo, dentro de las acciones tendientes a lograr el uso eficiente del agua, está el evitar la presencia de fugas. En otras palabras se requiere de una evaluación de factibilidad considerando el costo resultante de operar cada m3 de agua contra el costo de recuperarlo en caso de pérdida.

IV.1.1.2 Falta de adecuación tecnológica de aparatos correladores a las circunstancias operativas reales de nuestro país

Cuando llegan a nuestro país equipos tecnológicamente superiores del extranjero, se trata de aparatos desarrollados para las circunstancias ideales que se presentan en los países donde se conceptualiza dicha tecnología.

Obviamente, al ser utilizadas en las circunstancias de nuestro país, generalmente sucede que los resultados que se obtienen no son tan satisfactorios como lo presume la información técnica que acompaña a los aparatos.

En el caso concreto de los equipos correladores, ha sido necesario trabajar con las constantes adecuadas para que la información computada en los equipos sea la más precisa posible. Se ha evocado a las características de la propagación del sonido a través de conductos fabricados en el país, además de verificar que estas características sean aplicables en los diferentes suelos que se encuentran en la República Mexicana.

IV.1.1.3 Falta de soporte técnico de empresas especializadas

La falta de interés de equipos correladores llevó a por lo menos una empresa de reconocido prestigio a dejar de promover y soportar técnicamente estos aparatos, ya que no representa un atractivo financiero que justifique una alta inversión en mantener una infraestructura adecuada de atención a los usuarios. Esto, obviamente deriva en que la comercialización de este tipo de aparatos se realiza a través de empresas importadoras que no garantizan en su mayoría un soporte técnico adecuado. Sin embargo, actualmente están renaciendo empresas con el objetivo de soportar este tipo de equipos con el mayor profesionalismo posible, ofreciendo entrenamiento, capacitación y mantenimiento que darán una mayor confianza al posible comprador de que su inversión estará respaldada en su propio país.

IV.1.1.4 Falta de conocimiento de la utilidad de los aparatos

La complejidad de la organización de las instituciones que operan los sistemas de agua potable y alcantarillado del país, da como resultado que la información técnica de primer orden, recopilada, investigada e incluso probada por instituciones de reconocido prestigio (Comisión Nacional del Agua, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua), no sean aprovechadas al cien por ciento, por causas ajenas al propio deseo de actualización, y esto motiva que al momento de tener en sus manos equipos de innovadora tecnología no puedan evaluarlos adecuadamente y por ende desaprovechan una buena oportunidad de crecimiento tecnológico de la dependencia

IV.1.1.5 Deficientes estructuras organizativas de organismos operadores

Dado el fin técnico de este documento, solo se expresará que a lo largo del andar por el país, se han tenido éxitos, fracasos y circunstancias embarazosas, y estas últimas motivadas por el enfrentamiento a estructuras de organización del sistema operador que no definían ¿quién o que área? era la adecuada para evaluar una alternativa en detección de fugas no visibles. Sin embargo, se ha encontrado que el interés por un crecimiento robusto y sano es la primicia en la mayoría de las instituciones que se recorrieron.

IV.1.2 La experiencia técnica

La mayor efectividad al determinar una fuga de un equipo correlador, permite el ahorro de trabajos infructuosos de rotura de carpeta asfáltica, empedrados o concreto, al mismo tiempo que se evitan con las consabidas molestias y perturbaciones al tráfico vehicular de la zona en cuestión, además de que gracias a la capacidad de detección de uno o más problemas en el mismo tramo con la misma revisión, permite hacer más eficiente el tiempo de operador y obviamente, tener una mayor cobertura de servicio.

Con respecto a las redes de distribución, el equipo correlador ha sido un magnifico instrumento de tomas domiciliarias, (al estar abiertas y en uso, aparecen como una posible fuga), que al revisar la información de esta contra el padrón de usuarios se determina la posible clandestinidad de la conexión.

Como se mencionó en el inciso de la problemática detectada, los equipos correladores están fabricados de acuerdo a circunstancias específicas que en el entendido universal son comunes, sin embargo, se ha encontrado que se debe hacer ajustes que permitan aumentar la eficiencia de estos equipos. En la tabla IV.1 se muestran las circunstancias especiales en las cuales ha funcionado el equipo correlador y que ilustran los alcances de este en México.

Tabla IV.1 El equipo correlador en la República Mexicana

LUGAR DE TRABAJO	DIÁMETRO DE LA TUBERÍA	MATERIAL DE LA TUBERÍA	PRESIÓN DE LA RED (Kg/cm ²)	NOTA DE OPERACIÓN
Tuxtla Gutiérrez Chiapas	6"	Asbesto-cemento	0.300	Fuga encontrada sobre ducto enterrado a 1.5 m, localizada a 2 m de un arroyo natural pluvial y a 3 m de una fuga de drenaje en un subcolector paralelo
Saltillo, Coahuila	4"	Asbesto-cemento	1	Fuga encontrada en el vástago de una válvula de globo en llave de banquetta.
Zapotlanejo, Jalisco	72"	Concreto armado (mca, comecop)		Fuga encontrada en cople, caudal recuperado 30 l/min, trabajo realizado sobre un tramo del acueducto Calderón-La Zurda en el Edo. de Jalisco.

Fuente: Desarrollo integral en computación / Reportes técnicos de trabajos realizados en campo / México (1990/1991).

Como se puede observar, no existe una regla universal sobre que circunstancias es más eficiente un equipo correlador, esto definitivamente variará dependiendo de la marca del equipo correlador utilizado, así como de la experiencia del operador en la interpretación de los resultados obtenidos.

IV.2 EXPERIENCIAS EN BRASIL (Griffin Drenassa y Emissao)

Griffin Drenassa en colaboración con Emissao, ambas empresas brasileñas, han incursionado en el sector de abastecimiento de agua y saneamiento básico, y actualmente se encuentran entre las 10 primeras del mundo que aplican los sistemas más avanzados para que las urbes usen racionalmente el agua, incrementando la vida útil de los sistemas instalados y obteniendo un mayor rendimiento de los caudales, *solamente con reducir las fugas de agua potable*.

Estas empresas han trabajado exitosamente en Uruguay, en la región metropolitana de Montevideo, en Guatemala, actualmente, están tratando de introducirse en el mercado mexicano.

IV.2.1 Altos costos de operación

En Brasil, a principio de la década de los 70's se apoyó la tentativa de apoyar los sistemas de suministro de agua potable y de controlar su distribución, mediante la introducción de dispositivos especiales colocados en instalaciones hidráulicas de los usuarios. Los resultados fueron alentadores, pero, imperceptibles si se comparan con las cifras totales de consumo de agua.

Aún así se siguió la implantación una serie de medidas aisladas, todavía sin una organización racional, pero con la conciencia de la necesidad de aprovechar al máximo el vital líquido.

En Brasil no se contaba con las estadísticas necesarias para conocer los porcentajes reales de utilización y desperdicio de este recurso, lo cual dificultaba la realización de una política congruente y de acciones concretas.

Griffin Drenassa implementó un proceso organizado, mediante el cual se obtuvieron datos reales del aprovechamiento de los sistemas de abastecimiento de agua. De cada 10 m³ que entraban a la red, solamente cuatro o seis llegaban al consumidor, lo que infería muy altos costos de operación.

El conjuntar técnicas y estudios no fue fácil, tomó cerca de 10 años o más y, a finales de los ochentas se pudo concretar un sistema lógico y organizado que mejora la calidad de los servicios y reduce los costos de operación, ocupándose además de los aspectos técnicos, financieros, administrativos y de atención al usuario. Para mostrar su confiabilidad se realizaron pruebas piloto en las ciudades de Río de Janeiro, Porto Alegre y Sao Paulo.

Los resultados fueron extraordinarios, en números redondos se llegó a un 30% de reducción de las pérdidas o, en otras palabras, de recuperación. Lo más importante es que al mismo tiempo que se ganaba agua, se normalizaba y se reducían los costos, sin invertir en redes adicionales, ni en nuevos sistemas de abastecimiento.

IV.2.2 Suma de tecnologías

El sistema de referencia es la suma de modernas y variadas tecnologías que virtualmente cubren todos los problemas que se presentan en un sistema de distribución de agua potable y comprenden diversas acciones entre las que se encuentran:

1.- *Micromedición*

Colocación de dispositivos de alta fidelidad en los medidores domiciliarios para medir los consumos por toma.

2.- *Macromedición*

Monitoreo de la red para medir los volúmenes de agua que entran y el consumo por sector en términos macro.

3.- *Catastros técnicos*

Información precisa de todo el sistema operativo (localización de las tuberías y los equipos de bombeo, así como sus características esenciales, tales como capacidad, especificaciones del fabricante, edad y otros). El conocimiento de todos estos factores reunidos en un catastro permiten afinar y ajustar los puntos deficientes, reduciendo costos operativos y eficientando el desempeño total. Esto último redundará en un ahorro o en un mayor rendimiento de las estaciones de consumo eléctrico, ya que casi todos los sistemas que suministran agua que se usan, tanto en Brasil como en México, son presurizados constantemente por bombeo que requiere energía eléctrica.

4.- *Catastro de consumidores*

Elaboración de una relación de usuarios del sistema para evitar las tomas clandestinas y la sobreexplotación de los recursos naturales.

5.- *Mantenimiento y rehabilitación de unidades*

Detección y reparación de todo tipo de fugas para que la red se encuentre siempre en buen estado y funcionando

6.- *Automatización de unidades operativas*

La automatización de las unidades operativas significa dar una mayor rapidez de respuesta a las deficiencias. Una fuga se detecta antes de que el consumidor sienta la falta de agua, porque se tienen

aparatos que miden la presión de la red por localidad y las reducciones o aumentos en ésta, se reportan automáticamente a una central, a través de la cual se giran instrucciones para verificación y reparación en caso necesario.

7.- Planificación y control

Los trabajos de planeación permiten definir las futuras acciones prioritarias en función de las fuentes de abastecimiento. En los lugares que no se cuenta con un sistema de distribución, hay que construirlo y de acuerdo a la población de estas localidades, proyectar el crecimiento futuro, dimensionar las tuberías y presupuestar los costos de esta operación.

8.- Ejecución de obras en sistemas de agua potable y alcantarillado por administración directa o indirecta

La ejecución de obras siempre es necesaria en las redes de abastecimiento porque la ocurrencia de fugas es muy alta. Se analizan las redes existentes, tomando en cuenta las necesidades futuras. Con esta información se podrán incrementar líneas o bien, sustituirlas.

9.- Comercialización

Establecimiento de una política justa de precios. Uno de los medios a través de los cuales se toma conciencia del uso del agua, es el pago de ésta. Si la cuenta del usuario es excesiva reduce su gasto casi de inmediato.

10.- Sistemas de índices de desempeño

La obtención de los índices de desempeño a nivel consumidor y sistemas de macromedición, permitirá hacer comparaciones directas contra la facturación, con lo cual se mejorará el sistema de cobranza.

11.- Sistema integrado de prestación de servicios y atención al público

El sistema integrado de prestación de servicio-atención al cliente, permite un manejo expedito de la información, la que inmediatamente pasa a las oficinas correspondientes y permite una mejor atención, evitando la típica cola que realizan los consumidores para pagar o reclamar.

Se establecen números telefónicos hasta de tres dígitos, que comunican el problema inmediatamente a través del sistema de automatización.

Si hay algún reclamo es posible detectar las causas del problema, reparándolo con prontitud. Si fuera doméstico se envía la camioneta de manutención para verificar las causas y resolver la problemática. Esto permite una mejor interrelación entre organismos y consumidor.

12.- Facturación

La demora de cobrar significa un costo real. Entre más rápido se pueda medir la dinámica del abastecimiento del agua, es mejor. Este proceso está íntimamente ligado al proceso de comercialización y a la computación para agilizar los procesos de cobranza

13.- Conscientización

El análisis social se incluyó debido a la necesidad tan grande que existe de cambiar nuestro comportamiento. Estamos acostumbrados a obtener todo subsidiado o bien, a un precio muy bajo, sin reflexionar en lo que cuesta obtenerlo. En el momento en que se cobra el precio justo, se genera un problema social, que puede suavizarse implantando un programa de conscientización de la población, con la consecuente reducción en el desperdicio del vital líquido. Estas campañas deben manejarse con sociólogos locales, que mucho mejor que nadie, conocen el comportamiento y las respuestas de la sociedad en las que están inmersos.

IV.2.3 Reducción del impacto en la ciudad

Antes de implementar el sistema se hace una evaluación del estado físico que tienen las instalaciones en la ciudad y de la forma en que está funcionando (medidores, pagos, reportes de fugas, mantenimiento, etc.).

Es sumamente importante confeccionar un catastro técnico simultáneo a un catastro de consumidores, porque en la medida que se obtengan datos confiables el sistema podrá operar de manera óptima.

Para su elaboración se cuenta con detectores que localizan los recorridos de las líneas y, para verificar los diámetros y características de las tuberías se realizan perforaciones en determinados tramos. En algunos casos, esta información puede ser proporcionada por ciertos aparatos. Con este tipo de aparatos se pueden detectar tomas clandestinas.

Este es un sistema dinámico en el cual existe un monitoreo permanente y constante, para evitar conexiones clandestinas y by-pass en los medidores.

Para reducir el impacto de la aplicación de un sistema en una ciudad se utiliza tecnología de punta. Una de estas es el uso de equipos especiales para instalación o sustitución de tuberías rotas sin romper las calles, porque el cerrar circulaciones públicas siempre es un desastre y significa a largo plazo un problema de orden social.

Con estos equipos se hace una perforación a través de la cual se introduce una sonda de pequeño diámetro que al mismo tiempo que gira, inyecta agua o lodo bentonítico, con lo que va abriendo un conducto que permite la introducción de una tubería.

La posición de la sonda se puede controlar desde el exterior, mediante un dispositivo colocado en la punta del equipo. Una vez terminada la oradación, la colocación de la tubería se realiza empujando y jalando al mismo tiempo, cada uno de los elementos que forma parte de la línea.

Si se tratara solamente de un tubo roto, habrá que verificar el material del que está compuesto (plástico, hierro, acero o fibrocemento) para determinar la reposición de la nueva pieza. Si es posible se coloca un tubo de diámetro menor al interior del original, con herramientas muy semejantes que van limpiando las paredes internas para permitir el paso del nuevo tubo. Para permitir el paso de una tubería de diámetro mayor se cuenta con aparatos que comprime el conducto en mal estado contra las paredes del subsuelo. Existiendo para cada situación una solución técnica coherente y eficiente.

En lo que se refiere a los aparatos de micromedición se verifican mensualmente. Hoy en día existen dos tipos que se aplican en los países desarrollados. En el primero una persona realiza la lectura del medidor con un sensor de contacto; la información se graba en un disco y se envía a un computador central que procesa los boletos de cobranza. El segundo más sofisticado emite una señal que es captada a través de un dispositivo colocado en un vehículo automotor que transita por las calles.

Para poder tomar una decisión entre uno y otro, antes que nada se debe hacer una prueba piloto, verificando la viabilidad y la relación costo-beneficio de ambos. Cabe mencionar, que si de verdad se quieren ver resultados, un sistema de este tipo debe manejarse de manera integral y no solamente por secciones, ya que este último permite un ahorro efectivo.

IV.2.4 Financiamiento y recuperación económica

La experiencia demuestra que con un financiamiento a largo plazo, aunado a un porcentaje de participación de la iniciativa privada (en Río de Janeiro se trabajó con un 25% más un 25% adicional, obligatorio para el organismo director del agua) se obtiene un incremento en la facturación, lo que sumado a las reducciones de costos operativos permite un rápido retorno del capital.

Los costos de un sistema como este son elevados (hay redes que prácticamente tienen que ser reconstruidas), y por ello, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) se mostró cauteloso en un principio.

Sin embargo una vez verificados los resultados en las áreas pilotos, aceptó el otorgamiento de un financiamiento para implantar el sistema de referencia en toda la urbe de Río de Janeiro, ciudad que en términos generales puede ser comparada con la ciudad de México.

La región metropolitana de Río de Janeiro tiene cerca de 13 millones de habitantes, según estudios de la ONU.

En esta ciudad, trabajando con el segundo mayor organismo de abastecimiento de agua y saneamiento básico, con aproximadamente 1'400,000 conexiones, se obtuvo entre otras cosas, un incremento en el volumen facturado de un 30% en algunas localidades y del 96% en otras localidades, un incremento en el número de economías catastrales del 21% al 77% y recuperación en el orden de \$ 4'000,000.00 de dólares.

IV.3 Programa de control de pérdidas de agua

Un programa de control de pérdidas debe de enfocar aspectos relativos a efectos como pérdidas de agua, errores de medición y usos clandestinos y asimismo debe investigar y minimizar las causas de ocurrencia de las mismas. Es imprescindible que en un programa de control de pérdidas se enfoquen aspectos de planeación, diseño, construcción, adquisición de materiales y equipos, operación, mantenimiento, organización y administración.

Además, un programa de control de pérdidas involucra sistemas y agentes institucionales internos y externos al organismo operador, siendo que sus acciones promueven la introducción de cambios profundos a nivel de proyectistas, empresarios y proveedores de materiales y equipos.

IV.3.1 Control de pérdidas de agua en sistemas de distribución

Las pérdidas representan la diferencia entre las medidas de las cantidades de agua suministradas al sistema de distribución en un intervalo de tiempo determinado y suma de medidas de consumo obtenida en los hidrómetros domiciliarios, con la estimativa de consumos de edificaciones cuyas conexiones domiciliarias son catastrales y no tienen hidrómetros o éstos no funcionan, en el mismo intervalo de tiempo. Las pérdidas se componen de tres partes:

a.- Pérdidas de agua

Representan el componente de las pérdidas debidas al escape de agua que ocurre en los dispositivos de rebosamiento de tanques de almacenamiento del sistema de distribución o el escape de agua que ocurre en las tuberías y demás elementos del sistema de distribución, por quiebra de estanquidad de los mismos. En esta categoría se encuentran las fugas en redes de distribución y conexiones prediales, y los reboses de tanque de almacenamiento de agua. Además de eso son consideradas en esta categoría las fugas y rebosamientos de los sistemas prediales cuyas conexiones prediales no sean micromedidas.

b.- Errores de medición

Representan un importante componente de las pérdidas causado por la imprecisión de los equipos de medición de caudal de los sistemas de macromedición y micromedición. Se caracterizan por lo tanto, la calidad y eficiencia del sistema de medición, y se relacionan con aspectos de evaluación de cantidades de agua y no con pérdida propiamente dicha

c.- Usos no facturables

Representan el componente de las pérdidas relativo a las cantidades de agua que, a pesar de ser utilizadas legítimamente, no revierten en facturamiento para el organismo operador. En esta categoría están incluidos los consumos operativos (lavado, desinfección de tuberías, depósitos), consumos especiales (bomberos), y los consumos clandestinos.

IV.3.1.1 Objetivos de un programa de control de pérdidas

Un programa nacional de control de pérdidas debe buscar la creación de una mentalidad nacional dirigida al reconocimiento del problema estimulando la realización de acciones que provoquen la reducción de las pérdidas hasta alcanzar valores mínimos admisibles.

- a) Tal programa debe ser constituido por un conjunto de acciones y elementos agrupados en módulos, denominados proyectos de actividades, cuyos objetivos son:
- Reducir a un valor mínimo admisible la relación volumen producido vs volumen utilizado de aguas.
 - Atender demandas reprimidas con agua que deja de ser pérdida.
 - Ampliar el sistema de distribución para atención a las zonas marginales con agua que deja de ser pérdida.
 - Garantizar el funcionamiento adecuado del sistema de abastecimiento de agua durante la vida útil del proyecto.
 - Aumentar la vida útil del proyecto.
 - Promover una mayor justicia social en la facturación y distribución del agua.
 - Reducir los costos de producción y distribución del agua.

IV.3.1.2 Proyectos de actividades

Los proyectos de actividades, si son formulados y aplicados de manera racional respetando las prioridades y potencialidades de los organismos operadores y las condiciones de los sistemas de abastecimiento de agua, representarán los instrumentos de acción destinados a producir la reducción de pérdidas.

Uno de los aspectos más importantes del proyecto, y que puede determinar su éxito o fracaso, es el involucramiento de personal clave de las empresas de abastecimiento de agua en el proceso de formulación, implantación y control de los mismos.

Los proyectos de actividades generalmente considerados en un programa de control de pérdidas son los que a continuación se explican.

a) *Proyecto de pitometría*

Trata de la implantación de servicios de pitometría cuya finalidad será la de obtener, procesar, analizar y divulgar datos operativos relativos a caudales, presiones y niveles de agua, realizando diagnósticos

específicos bajo condiciones reales o simuladas de funcionamiento de las unidades operativas de los sistemas de abastecimiento de agua.

El proyecto de pitometría abarca pruebas en estaciones de bombeo, ensayos en tuberías, verificación y calibración de macromedidores, estudios de comportamiento de redes de distribución, estudios de comportamiento de sistemas de conducción, sectorización, localización de tuberías y masas metálicas enterradas y estudios especiales, entre otros.

b) Proyecto de macromedición

El proyecto de macromedición definirá la implantación de sistemas de macromedición destinadas a la obtención, procesamiento, análisis y divulgación de datos operativos de rutina relativos a caudales, presiones y niveles de agua de los sistemas de abastecimiento.

Los aspectos más importantes del proyecto son la definición de sistemas prioritarios, la localización de los puntos de los sistemas en que deben ser instalados los macromedidores y la forma de tratamiento de las variables consideradas.

c) Proyecto de catastro en redes de distribución

El catastro de las redes de distribución representa un apoyo indispensable para su operación y mantenimiento y particularmente, para el control de operación del sistema de abastecimiento, además de facilitar las tareas de detección, localización y reparación de fugas.

Tal proyecto debe prever la implantación de una rutina técnico-administrativa destinada a la elaboración y actualización del catastro de la red de distribución.

d) Proyecto del sistema comercial

El sistema comercial se destaca como elemento básico para que se alcancen los objetivos del organismo operador, teniendo en cuenta la necesidad de generación de recursos propios para cubrir los costos de operación y mantenimiento, al servicio de la deuda y también ingresos adicionales que permitan obtener una rentabilidad predeterminada, dependiendo en cada caso de las políticas económicas y financieras establecidas para alcanzar su objetivo y permitir la autosuficiencia financiera de la institución. Se compone de los siguientes subsistemas:

- Subsistema de comercialización de los servicios.
- Subsistema de catastro de consumidores.
- Subsistema de medición de los consumos.
- Subsistema de facturación y cobranza.

e) Proyecto de control de fugas

Un programa de control de fugas debe conducir alteraciones de procedimientos y metodologías en los organismos operadores de abastecimiento de agua para que se reduzca a un mínimo el tiempo promedio que transcurre entre el surgimiento de una fuga y su eliminación. En otras palabras, mediante acciones gerenciales eficaces se debe de buscar la reducción del volumen de agua perdido en cada fuga reduciendo su permanencia a un mínimo viable, desde el punto de vista técnico y económico.

f) Proyecto de mejora de las conexiones domiciliarias

Se trata de un proyecto destinado a desarrollar un sistema racional de diseño, dimensionamiento, padronización, construcción, fiscalización, recepción y control de la calidad de las conexiones domiciliarias, este proyecto debe ser desarrollado con marcada prioridad.

g) Proyecto de operación del sistema de abastecimiento de agua)

La operación eficiente y eficaz de un sistema de abastecimiento de aguas depende del conocimiento que el personal de operación tiene sobre las variables que intervienen en la regularidad, confiabilidad y cantidad de agua suministrada a la población y de la capacidad que tiene ese personal de influir con eficacia en la configuración hidráulica del sistema, a través de su actuación en esas variables.

El proyecto de control de operación debe de abarcar los aspectos de operación de rutina y planeación de operación.

La operación de rutina es un conjunto de actividades que resulta del análisis de las variables que a cada intervalo de tiempo fluyen a la unidad central de operación, destinadas a establecer la configuración del sistema de abastecimiento de agua más adecuado para ese momento.

La planeación de operación consiste en la definición de criterios de operación ante determinadas configuraciones esperadas del sistema de abastecimiento de agua.

Estos criterios son definidos con base en los análisis de los reflejos de determinadas acciones de operación. Es usual la utilización de modelos matemáticos para este fin.

h) Proyecto de mantenimiento y rehabilitación de unidades operativas

Este proyecto tiene por objetivo implantar una metodología racional y ordenada para la realización de acciones que conduzcan a la recuperación de determinadas partes del sistema de abastecimiento de agua, teniendo en cuenta problemas de obsolescencia por el mal estado de conservación o por deficiencia del diseño, construcción, calidad de materiales y operación inadecuada.

Asimismo, tiene por objeto introducir sistemas de abastecimiento preventivo de las partes componentes del sistema.

i) Proyecto de calidad de materiales y equipos

El proyecto de calidad de materiales y equipo, pretende introducir en el organismo operador procedimientos técnicos y administrativos para lograr una mejoría en los procesos de adquisición, seguimientos de su fabricación, recepción, transportación, almacenamiento, instalación, operación y mantenimiento de los mismos.

Es un proyecto de difícil formulación e implantación debido a las barreras representadas por los intereses e influencias de los fabricantes, los cuales normalmente no están dispuestos a alterar sus procedimientos tradicionales de fabricación y suministro, con efectos significativos de impacto para las empresas.

Este proyecto debe ser desarrollado con la participación activa de los fabricantes y proveedores, y debe ser implantado simultáneamente por el mayor número posible de organismos operadores de abastecimiento de aguas, para que se genere un mayor poder de negociación de esos organismos con estos proveedores.

j) Proyecto de revisión de criterios de diseño y construcción

Los sistemas de distribución en su concepción, diseño y construcción debe contemplar facilidades para la realización de programas de control de fugas, mediciones de consumo, operacional de la red y mantenimiento de tuberías y accesorios.

El proyecto de revisión de criterios de diseño y construcción se propone introducir alteraciones en procedimientos clásicos para minimizar los costos globales de implantación y control de sistemas de distribución.

I.- Norma de proyecto de actividad

La formulación de los proyectos de actividades debe ser orientada por medio de instrumentos específicos denominados "normas de proyectos de actividad" destinados a hacer que por lo menos algunos requisitos mínimos sean contemplados en tales proyectos.

Deberá existir una norma de proyecto de actividad para cada tipo de proyecto.

II.- Investigaciones

La formulación, implantación y control de los varios proyectos de actividades exige en muchos casos el apoyo de la investigación. Es indispensable, en función de un estudio de situación de las empresas ligadas con el programa de control de pérdidas, elaborar un programa de investigaciones cuyos resultados aplicados podrán ser factores decisivos para el éxito de los proyectos.

III.- Capacitación de recursos humanos

La ejecución de las investigaciones y la aplicación de sus resultados por las varias empresas participantes del programa de control de pérdidas, así como la formulación, implantación y control de los proyectos de actividades, exigen la compatibilidad de los recursos humanos involucrados con el grado de complejidad y amplitud de la nueva tecnología.

En consecuencia, deberán preverse programas de desarrollo de personal que conduzca a la preparación de los individuos para recibir y proporcionar información y para actuar como agentes de evolución tecnológica de los organismos respectivos.

IV.4 Experiencias de control de pérdidas en Tijuana

Tijuana se caracteriza por la escasez de agua y su costo elevado, por lo que evitar las pérdidas se ha convertido en la prioridad, no solo del organismo operador, sino de la sociedad en conjunto, que exige que un recurso tan escaso sea administrado con eficiencia.

En el pasado reciente se ejecutaron gran número de reparaciones de fugas de agua: por ejemplo, en 1990 mensualmente se ejecutaron en promedio 660 reparaciones sobre fugas visibles, de las cuales el 78% (519) correspondían a fugas en las tomas domiciliarias y el 22% (141) correspondieron a fugas en líneas de conducción y distribución (Cuadro IV.2).

Adicionalmente no todos los reportes sobre fugas visibles se atendían, y el tiempo de permanencia de la fuga fluctuaba generalmente entre 15 y 30 días (en ocasiones hasta 3 meses), incidiendo esto en pérdidas de agua en volúmenes importantes (sin considerar la resolución de fugas no visibles); además de generar una mala imagen del organismo y poca credibilidad de los usuarios.

Lo anterior llevó, dentro de los lineamientos del PDI (Programa de Desarrollo Institucional), a definir las acciones que se deberían ejecutar para abatir los impactos negativos que presenta el derramamiento de agua por fugas.

Sin embargo, se concluyó que las "pérdidas de agua" por fugas y derramamientos representaban solamente una parte del problema, pues este indicador era influenciado, además, por otros factores.

Esto llevó a buscar una solución integral al problema de pérdidas esto es, que "el control de pérdidas es un conjunto armónico de actividades realizadas por un organismo operador, destinadas a alcanzar y mantener un nivel en que los componentes de pérdida debido a fugas, rebosamientos, usos clandestinos de agua, desperdicios, consumos operativos, errores de medición y errores de estimación, sean los mínimos posibles en condiciones de viabilidad técnica, económica, financiera e institucional" (Modelo de Gerencia de Operación y Mantenimiento de Sistemas de Agua Potable y Saneamiento, OPS, 1986, Pag. 30).

Así, dentro del PDI, se definieron doce proyectos cuya aplicación permitió reducir el indicador de "pérdidas de agua" paulatinamente, y permitirá llegar a un 25% para el año de 1995, de acuerdo con la condición contractual comprometida con el Banco Internacional de Desarrollo (BID).

Cuadro IV.2 Resumen anual del control de pérdidas de la ciudad de Tijuana en el año de 1993

C O N C E P T O	ENERO 1993	PROMEDIO DE LOS ÚLTIMOS 12 MESES
Población (1)	1'023,511	1'000,564
Conexiones:		
Conexiones de agua potable	170,161	161,167
Cuentas de agua potable	144,523	137,828
Cobertura de agua potable	91.40%	88.56%
Medidores:		
Medidores instalados	125, 522	113, 902
Cobertura de medidores	86.90%	82.55%
Medidores funcionando	130,502	107,464
Producción de agua potable (miles de m3)	5,459	5,365
Facturación (miles de m3)	3,634	3,673
Volumen medido (miles de m3)	1,360 (2)	2,986
Porcentaje volumen medido (miles de m3)	37.40% (2)	77.23%
Agua no contabilizada (en miles de m3)	1,825	1,692
Porcentaje de agua no contabilizada	33.40%	31.45%
Índice de cobranza	83.10%	86.06%
Personal:		
Número de empleados	1,211	1,226
Empleados p/c 1,000 conexiones de agua	7.2	7.6
Agua:		
Conexiones de agua potable por empleado	139.2	131.4
(1) Estimación de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT)		
(2) Afectado por lluvias de Enero de 1993		

IV.4.1 Proyecto del sistema de operación

- 1.- Proyecto de pitometría.
- 2.- Proyecto de macromedición.
- 3.- Control de la operación del sistema de agua potable.
- 4.- Proyecto de catastro de instalaciones y equipos de operación.
- 5.- Proyecto de catastro en redes.

Los proyectos 1, 2 y 3 fueron orientados en el sentido de la pitometría y la macromedición son herramientas para "control operativo", que se apoya en ambos para planear, controlar y operar el sistema de mantenimiento que involucra red matriz, red secundaria, tanques, cárcamos, bombeos y los demás accesorios del sistema, con el objetivo de garantizar un buen servicio a la comunidad y contribuir a una operación más eficiente del recurso con su reflejo en el indicador de pérdidas.

De esta manera se crea el departamento de "control operativo" con los siguientes lineamientos:

- a) Definir puntos de macromedición e instalar o reubicar, macromedidores.
- b) Centralización de la información a fin de homogeneizarla y analizarla con fines de control de resultados.
- c) Verificación sistemática del funcionamiento de los medidores.
- d) Utilización adecuada de la pitometría como herramienta para el control operativo.
- e) Controlar las velocidades en las redes.
- f) Organización, desarrollo y sistematización del catastro de redes, instalaciones y equipos.
- g) Controlar las presiones en la red, así como los niveles de los tanques de almacenamiento, evitando derrames y pérdidas.
- h) En forma importante, sistematizar la investigación de fugas, principalmente no visibles y establecer mantenimiento preventivo en redes e instalaciones.

Con el fin de consolidar un catastro de redes e instalaciones (proyectos 4 y 5) que permita controlar eficientemente el funcionamiento de la red, la ejecución de los proyectos de macromedición, pitometría, control operacional, mantenimiento de la red y control de fugas; se elaboró un manual de procedimientos del catastro de redes, conjuntamente con el Ing. Carlos G. Mejía Angulo, consultor OPS/OMS, con el apoyo de las metodologías del Programa Nacional de Control de Pérdidas y Uso Eficiente del Agua (PRONEFA).

Se ha avanzado en la implantación de un " sistema de información geográfica ", para el catastro técnico en redes, teniéndose ya formulada una base geográfica digitalizada de la ciudad elaborada por SAHOPE (dependencia estatal), se avanza en el acopio de datos de información y la definición del sistema de cómputo apropiado, en base a análisis del sistema ADAX, de Eco-Ingeniería, S.A., México, D.F., y San Diego Data Processing Corporation, en San Diego California U.S.A

Se contemplan tres fases para la implantación de estos proyectos:

Fase I: Desarrollo piloto.

Fase II: Confirmación definitiva del catastro.

Fase III: Consolidación del proyecto.

IV.4.2 Proyectos del sistema comercial

7.- Proyecto de revisión de criterios de diseño y construcción.

8.- Proyecto de catastro de consumidores.

9.- Proyecto de medición de consumos.

10.- Proyecto de facturación y cobranza.

11.- Proyecto de tarifas.

IV.4.3 Proyecto de los sistemas de apoyo

12.- Proyecto de mejoramiento y control de calidad de materiales y equipos.

En septiembre de 1992, se elaboró el informe técnico no. 390, por el Ing. Sergio A. Caporalli, asesor en control de pérdidas y uso eficiente del agua, de OPS/OMS, con el propósito de apoyar el control de calidad de materiales y equipo de la CEPS, cuyas recomendaciones se están aplicando, sobre todo en la elaboración de especificaciones a fin de que la adquisición de materiales y equipos sea hecha en función de esto y ateniéndose a normas técnicas, nacionales e internacionales.

IV.4.4 Ejecución de servicios y atención al público

Una de las principales conclusiones resultantes del análisis hecho sobre la forma de ejecutar los servicios de mantenimiento de redes, atención de fugas y la instalación de tomas y descargas solicitadas por los usuarios, además de los servicios comerciales en la CESPT, fue en el sentido de que dicha ejecución dependía principalmente, de la capacidad y habilidades individuales de las personas encargadas de llevarlos a cabo aplicando sus propios juicios, sin llevar un control efectivo al carecer de una buena organización.

Por lo tanto se hacía necesario "cambiar a una administración basada en sistemas y tecnologías que permitieran obtener resultados previsibles y controlables", lo cual posibilitaría mejorar o adecuar servicios, modificar la manera tradicional de pensar abriendo nuevos espacios para incrementar la productividad y calidad en la ejecución de los servicios.

Para lograr lo anterior se contó con la asesoría del Ing. Luiz Claudio Martins Tavares (consultor de OPS/OMS), y conjuntamente con él se diseñó el "Proyecto de mantenimiento de redes y tomas domiciliarias, atención al público y ejecución de servicios comerciales".

Este proyecto se entiende como el "conjunto de actividades a ser desarrolladas por la institución dotándola de políticas, normas y procedimientos que le permitan recibir y atender en forma eficiente las solicitudes de los usuarios y la ejecución de los servicios de operación y mantenimiento preventivo y correctivo de las redes de distribución y de las conexiones domiciliarias, así como de los servicios administrativos o comerciales".

IV.4.5 Esquema general del sistema

El sistema está integrado básicamente por tres " módulos de servicios " los cuales tienen sus propias características pero están integrados estrechamente interrelacionados, lo cual es la base de su funcionamiento.

I.- Módulo de atención al público

Este módulo maneja los dos canales básicos de comunicación con el usuario: atención por teléfono y atención personalizada, estableciendo un compromiso con el usuario de atender en un determinado plazo su solicitud de servicio.

Se plantea en el modelo que en forma paulatina se deberá ir disminuyendo la atención personalizada al usuario e ir incrementando la atención a través del teléfono, ya que la primera es más costosa y más lenta. Esto implica dotar a este último con los recursos, equipo y personal que le permita dar la atención eficientemente resolviendo solicitudes y no concretarse solo a recados telefónicos.

Esquema básico:

- Recepción de solicitudes de servicios y reportes de los usuarios.
- Control central.
- Distribución de órdenes para ejecución de los trabajos.

II.- Servicios de campo

Son todos aquellos servicios ejecutados en el sistema de distribución de agua potable como reparación de fugas, instalación de tomas, verificaciones de consumos y medidores, instalación de medidores, etc. (se exceptúa la lectura de medidores).

Los objetivos de este módulo son maximizar la productividad de las brigadas y minimizar los traslados de los vehículos.

Esquema básico:

- Programación de las prioridades y rutas.
- Ejecución de servicios de campo.
- Control.

III.- Servicios comerciales

Son los servicios que se ejecutan tan internamente. Estas actividades están relacionadas con las del módulo de atención al público, lo cual implica definir claramente los límites entre ellos, ya que en principio las solicitudes de los usuarios se deberán resolver en primer instancia, al momento de solicitarse el servicio, y los que no sea posible porque requieran trabajos de campo, análisis más detallados o necesitan de decisión superior, deberán ser turnados a los módulos de ejecución de servicio, ya sea comerciales o de campo.

Esquema básico:

- Programación de las prioridades de servicio.
- Desarrollo de los servicios.
- Control.

Con este proyecto se pretende dotar a la CESPT, de forma sistemática y permanente, de condiciones favorables para lograr:

- Reducir al mínimo el tiempo que transcurre entre el surgimiento de una fuga y su eliminación, a través de la adecuada organización de la ejecución de los servicios de campo.
- Reducir los gastos de operación y los niveles de pérdida de agua.
- Mejoría de la calidad de los servicios.
- Satisfacción al usuario.

IV.4.6 Implantación

A la fecha se han implantado los módulos de: ejecución de servicios de campo, control y distribución central, atención telefónica, y se está en la etapa de formulación y diseño del módulo de ejecución de servicios comerciales y atención personalizada.

I.- Ejecución de servicios de campo

Una premisa básica del proyecto consistió en iniciar la implantación del mismo consolidando la ejecución de servicios de campo, pues ello permitiría poder llegar a establecer un compromiso de respuesta ante el usuario.

De este modo, a la fecha se tiene reestructurada esta área, con las siguientes características:

a).- Distritos:

El distrito es una descentralización de ejecución de servicios de campo. Es responsable de las atenciones a una área determinada de la ciudad sin intervenir en las otras, por lo que cuenta con su propia estructura y su propio personal.

Se dividió a la ciudad en cuatro zonas o "distritos", tomando en cuenta áreas comerciales, las condiciones físicas para la definición de distritos, zona de influencia de los tanques de almacenamiento, accidentes naturales o geográficos, sentido del tráfico, vías de comunicación, número de tomas, etc.

Los distritos definidos no son equivalentes en tamaño o cantidad de redes y tomas, sino que cada uno se caracteriza por ofrecer más facilidades para el tránsito de vehículos (se cronometraron recorridos) y ajustándose a las zonas manejadas por el área comercial, a fin de tener mayores facilidades de localizar las fugas no visibles al analizar los volúmenes registrados por micromedición en la zona.

Tabla IV.3 Distritos de Tijuana

Nombre del distrito	Número del sector	Tomas domiciliarias
Juan Ojeda	Sector no. 1	23 %
Paraíso	Sector no. 2	25 %
Independencia	Sector no. 3	36 %
Matamoros	Sector no. 4	16 %

b).- Organización

- Jefe de distrito
- Encargado de programación
- Encargado de estadística
- Encargado de catastro y dibujo

Almacén:

Cada distrito cuenta con un almacén para el resguardo de los materiales, lo que permite que se reduzcan tiempos de surtido a las brigadas.

Se hace un control diario de los materiales consumidos por las brigadas, manteniendo existencias suficientes para no interrumpir los servicios de campo.

Vestidores, baños y casilleros para cada empleado.

II.- Edificio administrativo

Brigadas:

La función básica de las brigadas es ejecutar los servicios de campo solicitados por los usuarios o internamente por el organismo. Para tal efecto están dotados de vehículos con radio, herramientas, equipos y materiales apropiados.

Cada brigada tiene un "jefe de brigada", el cual es responsable de la ejecución de las tareas correspondientes. El cuadro IV.4 muestra los tipos de brigadas.

Cuadro IV.4 Brigadas

TIPOS DE BRIGADAS	NÚMERO DE EMPLEADOS	NÚMERO DE PLOMEROS	NÚMERO DE AYUDANTES
I	1	1	0
II	2	1	1
IV	4	2	2
Servicios complementarios	4	2 Albañiles	2

El número de personas que integran cada brigada están en función de la lista de servicios a ejecutar por cada una.

Vehículos y equipo

Se han diseñado vehículos y herramientas apropiadas para cada tipo de brigada, con disposición total, a fin de reducir tiempos muertos y mejorar la productividad y calidad de los servicios ejecutados.

Programación de servicios

El área de "Programación de servicios" en cada distrito constituye la pieza fundamental para el correcto funcionamiento de la ejecución de los servicios de campo, ya que su función es programar, distribuir, controlar y orientar todos los servicios que serán ejecutados por cada una de las brigadas, además de comunicar eventuales emergencias al "control central".

Esta área se apoya con los siguientes recursos:

a) Casillero

Está compuesto de tres partes:

Zona de servicios a programar, zona de servicios a ejecutar y zona de servicios ejecutados.

b) Plano del distrito

Está fijado en paneles magnéticos de tal modo que permiten la fijación de piezas imantadas, que representan a cada brigada, a fin de tener una visión audiovisual en los sitios en que serán ejecutados los servicios y poder definir las "rutas" de las brigadas; y en la etapa de ejecución poder hacer seguimientos y control como un todo y por brigadas.

c) *Radio*

El radio permite la comunicación entre la brigada y el programador.

Catastro de redes

Las atribuciones básicas son las de proporcionar datos catastrales de la red, informaciones complementarias para la ejecución de servicios y mantenerlo actualizado a través de la información levantada por las brigadas al momento de la ejecución de los trabajos.

Estadísticas

La función básica es la de hacer los cálculos y los indicadores de los desempeños de las brigadas, en base a los datos registrados por las brigadas en los formatos de tiempos y movimientos.

A partir de estos indicadores se hacen diversos análisis que permiten hacer la evaluación y gestión del sistema implantado.

Indicadores de desempeño

Son valores numéricos que se obtuvieron a partir de los datos operacionales medidos, y permiten evaluar el desempeño de las brigadas y del propio sistema.

Se determinaron 5 indicadores:

1) *Indicador de rapidez (RAP):*

Es la relación entre la suma de los tiempos estándar (TES) y la suma de los tiempos producidos

$$AP = TES/TPR$$

RAP puede ser igual a 1 (lo ideal), menor que 1 y mayor que 1; donde hemos considerado que lo normal está en el rango de: 0.8 menor que RAP menor que 1.20

2) *Indicador de productividad (PRO)*

La productividad de una brigada es igual a la razón entre la suma de los tiempos producidos (TPR) y el tiempo total disponible en la jornada de trabajo (TTD).

$$PRO = TPR/TTD$$

Rango adoptado: entre 60% y 90% de PRO.

3) *Indicador de utilización (UTI)*

Evalúa si la brigada está utilizando adecuadamente el tiempo, a través de los resultados obtenidos por los indicadores de rapidez y productividad.

$$UTI = (RAP) (PRO)$$

Para efecto de evaluación se consideró como rango aceptable entre 0.48 y 1.08 de UTI.

4) *Eficiencia de ruta (EFR)*

Evalúa la adecuada planeación de la ruta para la ejecución de los servicios. Su objetivo es minimizar los traslados con la consecuente disminución de los costos de operación e incremento de la productividad de la brigada.

EFR es igual a los Km recorridos entre servicios ejecutados

$$EFR = Km/SE$$

Se tiene fijado el valor máximo de 7 Km, como un recorrido normal por cada servicio.

5) *Indicador de tiempo medio de atención (TMA)*

Define el intervalo de tiempo transcurrido entre el registro de las solicitudes de servicio en el módulo de atención al usuario, hasta el momento de la conclusión de los servicios.

Se determina como la razón de la diferencia, entre la hora de registro de la solicitud de servicio (HSS) y la hora de ejecución de servicio (HES), dividido entre el número de servicios (NS).

$$TMA = (HSS-HES)/NS$$

III.- Módulo de control y distribución central

Es el vínculo entre los módulos de atención al usuario y los módulos de ejecución de servicios de campo y servicios comerciales, además de centralizar la información general y producir los reportes de evaluación global de los diversos módulos.

Está ubicado en el edificio central del organismo, y tiene los medios para lograr una comunicación efectiva con los diversos módulos de ejecución de servicios y atención al usuario.

Módulos de atención al usuario

los módulos de atención telefónica y atención personalizada tienen como responsabilidad básica recibir las solicitudes de los usuarios en forma eficiente y sistemática, ofreciendo respuesta a sus reclamos y en caso necesario (y posible), iniciar los trámites necesarios para dar solución a su solicitud.

Estos módulos están permanentemente informados de las acciones y situaciones que acontecen en el área de operación, a fin de tener elementos para dar una respuesta ágil a los usuarios, asimismo, se da seguimiento a los servicios solicitados, a través del módulo de control y distribución central.

Está contemplado dotar a estos módulos con líneas telefónicas de fácil memorización y equipos telefónicos distribuidos de llamadas en forma uniforme, así como terminales de computadora que permita acceder informaciones necesaria para la solución de algunos problemas.

IV.4.7 Conclusiones

Esta nueva forma de organización para la ejecución de servicios de campo, se inició en noviembre de 1992 y rápidamente se logró incrementar el número de servicios ejecutados por las brigadas en un 35.9%, se han estado abandonado los tiempos de respuesta de todos los servicios principalmente en el tiempo de reparación de fugas, y a pesar del poco tiempo de su implantación, los resultados empiezan a generar comentarios favorables de la comunidad.

Al mismo tiempo, se ha mejorado la atención al usuario reduciendo los tiempos dedicados por ellos a la gestión de solicitudes de servicio ante el organismo.

Los resultados iniciales tan favorables que se han obtenido, han sido posibles porque se está sustentando su éxito en la capacitación de los empleados involucrados, en base a los nuevos procedimientos diseñados, en el manejo de herramientas, estadísticas y los formatos de control y registro, favoreciéndose, además, un cambio de actitud positiva.

En suma, este conjunto de proyectos están permitiendo consolidar bases firmes para reducir las ineficiencias del organismo, que se reflejan en el indicador de pérdidas, al mismo tiempo que facilitarán la integración armónica de los diversos sistemas del organismo, con la consecuente mejora de la eficiencia y control de la gestión.

IV.5 Experiencias en Inglaterra

Los británicos están cobrando conciencia cada vez más de la necesidad de mantener los recursos hídricos del país y de utilizar el agua con moderación, tras la experiencia de los recientes veranos.

El agua se debe almacenar y tratar antes de conducirla a la red de distribución. En una nación en que la demanda va en constante aumento es preciso almacenar inmensas cantidades. Es aquí donde entra en escena la National Rivers Authority, o NRA (Junta Nacional de Aguas Fluviales). En Inglaterra y Gales el agua es abastecida por compañías privadas; Dichas compañías despliegan una gran publicidad en tiempos de sequía para asegurarse de que los usuarios reduzcan el consumo.

IV.5.1 Reparación de fugas

La importancia de reducir los consumos quizás en apariencia trivial se pone de manifiesto cuando se analizan las cifras de consumo de agua en el Reino Unido. El consumo medio diario es de 136 litros diarios por persona, de los cuales solo un 3% se bebe. Hasta un tercio de esta cantidad se usa para lavar el inodoro.

El reino unido fue uno de los precursores en materia de sistemas de seguros de alcantarillados y de abastecimiento de agua potable.

Pero aunque los logros alcanzados desde el siglo XIX fueron extraordinarios, han dejado un legado de problemas que ahora hay que resolver.

Sin embargo, las compañías del agua y los ingenieros del sector han crecido ante el desafío que esto supone y están resolviendo de forma eficaz los problemas de las pérdidas de agua a través de las viejas y frágiles tuberías de hierro de la red, que durante años se han ido oxidando o dañando debido al desplazamiento del terreno.

La tecnología moderna permite ahora reparar muchas de estas tuberías, introduciendo en ellas máquinas que revisten las paredes interiores con resina o cualquier otra sustancia obturadora, como mortero de cemento. A menudo primero se eliminan los residuos mediante raspado.

Se presta especial atención a las tuberías con escape, campo en el cual los técnicos británicos han desarrollado una considerable experiencia. En el norte de Inglaterra, Yorkshire Water considera que las fugas son un problema inevitable pero superable. Gracias a planes efectuados en la región para descubrir fugas, en solo unos años se han salvado 9'000,000 m3 de agua.

IV.5.2 Las pérdidas de agua en Londres

En Londres, Inglaterra, se utilizan dos métodos para detectar las fugas de agua. Uno consiste en verificar continuamente un grupo de un máximo de 5,000 propiedades. Si se registran flujos excesivamente elevados, se envían cuadrillas de inspección que hacen comprobaciones en todo el distrito.

El otro método consiste en identificar y medir durante la noche el suministro a un pequeño grupo de propiedades, lo cual revela si se está consumiendo un cantidad anormalmente grande de agua.

Se considera que en la década de los setenta en Londres se perdió nada menos que un 25% de todo el suministro de agua a través de fugas. Ahora se invierten 212 millones anuales en el tendido de nuevas redes o en la obturación hermética de tuberías antiguas, con el resultado de que las fugas se han reducido al 19%. Thames Water, la compañía que abastece a la mayoría de Londres y a buena parte de la región de Támesis, informa que para finales de este año de 1994 habrá reducido esta cifra al 16%.

IV.6 Proyecto de administración de los servicios de agua potable en el Distrito Federal

Las empresas North West Water y Gutsa han formado un consorcio que se llama Agua de México para llevar a cabo la prestación de los servicios de agua potable incluyéndose drenaje y tratamiento de aguas servidas particularmente en el Distrito Federal.

La primera etapa del proyecto implica: levantamiento del padrón de usuarios, regularización de tomas y el levantamiento del catastro de redes.

La segunda etapa es la instalación de nuevas tomas y conexiones a la red de drenaje, la lectura de medidores, facturación y cobranza.

Y en la tercera etapa operación, mantenimiento y rehabilitación de redes de distribución.

IV.6.1 Sistema automatizado para la administración de servicios

El sistema que se propuso fue el de utilizar una camioneta que lee las lecturas por medio de ondas de radio de cada toma y las pasa a una computadora, pasando por la calle, sin molestar a los usuarios, eliminando por mucho el efecto del error humano en la toma de lecturas.

EL sistema es bastante complejo para tener al público en un sistema de información geográfico -todo por computadora-, el sistema de administración de las obras a realizar y los sistemas financieros, en donde se tiene que completar toda la información para atender al público, en el centro de atención, dando información financiera, geográfica y de la administración, tiempo de duración y responsabilidad de las obras.

Este caso incluyó un sistema de computación bastante complicado, cerca de 80 PC's y centros importantes de computación, a manera de centrales, cerebros y demás.

La experiencia vivida y la propuesta para el Distrito Federal, implicó ocho meses de investigación, 16 ingleses experimentados y altamente especializados en cada una de las materias, durante los ocho meses en México; dos ingenieros mexicanos, cuatro financieros permanentes y diversos asesores en hidráulica, en aspectos legales, en contabilidad e inclusive haciendo encuestas, acercándose hacia el público en general.

Una inversión total que llegó a los tres millones de dólares.

ETAPAS DEL PROYECTO

PRIMERA ETAPA:

- LEVANTAMIENTO DE PADRON DE USUARIOS
- REGULARIZACION DE TONAL
- LEVANTAMIENTO DEL CATASTRO DE REDES

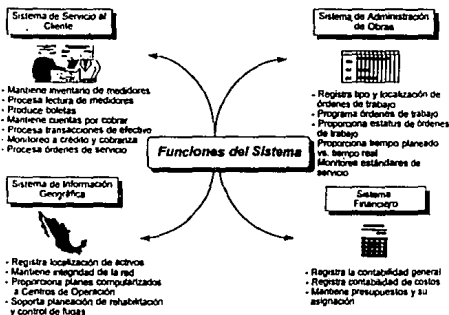
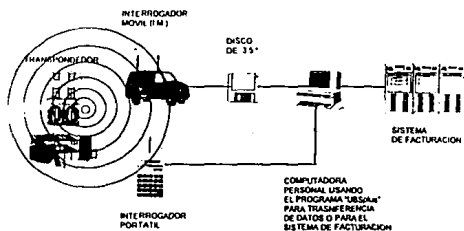
SEGUNDA ETAPA:

- INSTALACION DE NUEVAS TONAS Y CONEXIONES A LA RED DE DRENAR
- LECTURA:
 - MEDIDORES ZONAS "A" (RADIO FRECUENCIA)
 - MEDIDORES ZONAS "B" (COMPUTADORAS PORTATILES)
- FACTURACION
- COBRANZA

TERCERA ETAPA:

- OPERACION
- MANTENIMIENTO Y
- REHABILITACION DE REDES

SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA RECOLECCION DE DATOS



CONCLUSIONES

En los sistemas de abastecimiento de agua potable siempre existirán escapes de agua en sus diversos componentes, como líneas de conducción, tanques de regulación y principalmente redes de distribución, no es posible pensar en un absoluto hermetismo.

Las fugas que ocurren en los sistemas de distribución de agua potable ocurren primordialmente en las tomas domiciliarias y en segundo término en las redes secundaria y primaria. Generalmente los gastos de las fugas en tomas domiciliarias son pequeños, comparados con los que se presentan en la red principal. Sin embargo, si se considera el número de conexiones que existen en una ciudad y el porcentaje que presentan fugas, entonces el gasto total es de valor considerable.

En el Capítulo II se analizó la cuantificación por sectores del total de fugas en tomas domiciliarias, que ocurren en la ciudad de Guaymas, Sonora. Asimismo, se describió la técnica indirecta de aforo que se utilizó en una muestra de 240 conexiones y el procedimiento a base de mediciones de presión, que se siguió para inspeccionar la ocurrencia de fuga en 225 tomas. Los resultados indican que de 17, 420 tomas existentes el 30% tiene fuga y el gasto total perdido es de 114 l/s.

Se presentó el método para evaluar pérdidas en redes de agua potable y su aplicación en la Cd. de Guaymas Sonora; en donde se encontró que de los 488 l/s de agua entregada a la ciudad, se pierden por fugas 114 l/s por fugas en las tomas domiciliarias, prácticamente no hay fugas en la red principal, 12.5 l/s dejan de medirse y 6.9 l/s se miden de más por errores en los micromedidores, y 104 l/s se están cobrando de más por mala estimación en las tarifas fijas.

El proceso de detección y control de pérdidas en sistemas de distribución de agua potable se inicia con un conocimiento de su estado físico operativo, mediante la actualización de planos, estadísticas de consumos, medición de volúmenes suministrados, etc.

Después se requiere hacer un diagnóstico o una evaluación de la situación de pérdidas existentes, con el fin de identificarlas y cuantificar las causas que la producen.

Posteriormente, con base en los resultados del diagnóstico se establecen, por un lado, la detección, localización y reparación de fugas.

Finalmente se implanta el control de pérdidas permanente, organizando al personal y proporcionando los medios necesarios para llevarlo a cabo y retroalimentar el proceso a través del tiempo.

De lo expuesto en el presente trabajo se derivan las conclusiones y recomendaciones siguientes:

Conclusiones:

- El mayor porcentaje y cantidad de agua que se pierde por fugas corresponde al total de tomas domiciliarias y no tanto a las líneas principales de la red de distribución, por lo que se deben intensificar los esfuerzos para repararlas y en el mejor de los casos sustituirlas.
- Para el caso del estudio de Guaymas, Sonora; el 43% de los micromedidores están funcionado dentro del rango inferior de la curva de errores, por lo tanto, se recomienda instalar aparatos cuya exactitud sea máxima con gastos inferiores al 5% de su capacidad nominal. Esto podría ser extrapolado a otras poblaciones de características semejantes para dar una idea del problema que realmente se está viviendo y darle la suficiente importancia que se requiere para una correcta medición de los caudales de agua.
- Se requiere realizar un programa de instalación de micromedidores e iniciar la sustitución de los existentes, para poder conocer realmente el consumo real de cada toma domiciliaria y retirar el pago de la cuota fija para que se pague lo que realmente se consume y asimismo poder incrementar las redes de distribución que tanta falta hacen en los lugares más alejados.

Recomendaciones:

- Mantener los niveles de pérdidas de agua dentro de los límites técnicos y económicamente aceptables es el fin primordial de los programas de control de fugas.
- Concebir, formular, implantar y controlar un programa de control de pérdidas representa una tarea compleja, de difícil ejecución, con barreras muchas veces aparentemente infranqueables, pero cuyos resultados económicos, tecnológicos, gerenciales y sociales compensan todo el esfuerzo desplegado.

- Para que se inicie un programa de control de pérdidas, antes que todo es necesario que se comprenda la amplitud e importancia de la cuestión y que exista la real voluntad y firme decisión de plantear y solucionar el problema. El proceso puede ser lento, en algunos casos, pero con el apoyo continuo y perseverante de la investigación y de la experiencia de aquellos que están involucrados en la gestión, el programa con seguridad logrará el éxito.
- Crear conciencia en los usuarios, la participación de los usuarios es importante en términos del uso eficiente del agua si asumen un papel más responsable en la detección y eliminación de fugas intradomiciliarias y en el empleo y conservación de aguas pluviales. Realizar una difusión permanente a través de los medios de comunicación de la importancia del buen uso del agua potable y su preservación además de las recomendaciones para reducir los consumos innecesarios y exagerados de agua.
- En el caso específico de la ciudad de México, reducir la explotación del acuífero e incrementar su recarga para mantenerlo balanceado, impidiendo la invasión urbana en las zonas de recarga natural
- Incrementar la eficiencia operativa y lograr una distribución equitativa, sobre todo en las zonas rurales o más alejadas.
- Cobrar el costo real del agua del agua potable suministrada de acuerdo al consumo particular de cada toma, con el fin de ir creciendo y dotar de este servicio a las comunidades que no lo tienen.
- Implantar las medidas que permitan generar una cultura del agua en la población, basada en su uso eficiente.

BIBLIOGRAFÍA

- CEPIS, Manual sobre control de fugas y mediciones en redes de distribución de agua, Organización Panamericana de la Salud, Lima Perú, Octubre de 1983.
- CNA, Resumen del informe final del proyecto detección y control de fugas e impacto de micromedición en Guaymas, Sonora, Diciembre de 1990.
- Secretaría de Asentamientos y Obras Públicas, Instructivo para detección de fugas y el empleo del equipo localizador, 1982, México.
- Memorias, Programa de uso eficiente del agua, Agosto de 1992, México D.F.

REVISTAS:

- American Water Works Association, Leak Detection, Denver USA, 1979.
- American Water Works Association, Leak Detection program reduces unaccounted-for water, Denver USA, Vol. 9 No. 4, Abril de 1983.
- DGOH, Mesa redonda sobre detección y eliminación de fugas, Revista Red Hidráulica, Año 7 Núm. 6, Octubre de 1993.
- Agua Potable, Detección de fugas, Marzo de 1988.
- Agua potable, Solución Integral a Fugas de Agua, Primera parte, Vol. 9 no. 108, Octubre de 1993.
- Agua Potable, Estrategias para el mejoramiento integral de los servicios de agua potable y alcantarillado en Tijuana, Febrero de 1991.
- Agua Potable, La problemática actual... y algunas opciones de solución, Mayo de 1987.
- Agua potable, Solución Integral a Fugas de Agua, Segunda parte, Vol. 9 no. 109, Noviembre de 1993.
- CNIC, Revista Mexicana de la Construcción, La concesión del servicio de agua, Agosto de 1992, México D.F.

- CNIC, Revista Mexicana de la construcción, Esquema de financiamiento para la construcción de infraestructura hidráulica con participación privada, No. 464, Septiembre de 1993, México D.F.
- Agua 2000, Estrategia para la Ciudad de México, México D.F., Mayo de 1991.
- Obras, Ingeniería Ambiental - ¿Hasta cuando?, Septiembre de 1993, México D.F.
- Obras, Educación - Pueda... y eduque, Julio de 1993, México D.F.
- Agua potable, Control de pérdidas de agua en sistemas de distribución, Diciembre de 19987.
- CICM, Noticologio, El sector Hidráulico preparado para apoyar el desarrollo nacional, 254 año XXIV, Octubre de 1994.