

100



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**PLANEACION DE UN PROGRAMA DE  
DETECCION Y CONTROL DE FUGAS  
EN REDES DE DISTRIBUCION DE  
AGUA POTABLE**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**  
**I N G E N I E R O C I V I L**  
**P R E S E N T A:**  
**GEORGINA PADILLA FRANCO**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**M.I. CONSTANTINO GUTIERREZ PALACIOS**



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**MEXICO, D.F.**

**OCTUBRE 2002**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

PAGINACIÓN

DISCONTINUA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/ 097/02

Señorita  
**GEORGINA PADILLA FRANCO**  
Presente

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

**"PLANEACIÓN DE UN PRORAMA DE DETECCIÓN Y CONTROL DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE"**

- INTRODUCCIÓN**
- I. ANTECEDENTES**
  - II. CONTROL DE USURARIOS**
  - III. PROGRAMA DE DETECCIÓN DE FUGAS**
  - IV. ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN**
  - V. PROGRAMA DE CONTROL DE FUGAS**
  - VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

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 2 de junio de 2002  
EL DIRECTOR

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

	PÁG.
Índice	i
Índice de tablas	iv
Índice de figuras	v
Índice de cuadros	vi
Introducción	1
1. Antecedentes	3
1.1. Conceptos generales	3
1.1.1. Definiciones generales	3
1.1.2. Conceptos básicos de fugas	6
1.1.2.1. Tipos de pérdidas	6
1.1.2.2. Donde se producen las fugas	8
1.1.2.3. Causas que producen las fugas	9
1.1.2.4. Clasificación de las fugas	10
1.2. Problemas de fugas en el país	11
1.2.1. Situación de los servicios de agua potable	11
1.2.1.1. Cobertura	11
1.2.1.2. Planes y estrategias para el desarrollo del sector hidráulico	13
1.2.2. Evaluación de las fugas de agua potable	14
1.3. Metodología para la prevención y el control de fugas	19
1.3.1. Diagnostico de fugas	19
1.3.2. Metodología para la prevención y control de pérdidas	19
1.3.3. Evaluación de fugas en la red	21
1.3.4. Estadísticas de fugas	23
2. Control de usuarios	24
2.1. Padrón de usuarios	24
2.1.1. Sistema de información a usuarios	24
2.2. Micromedición	25
2.2.1. Evaluación de sub y sobre medición	27
2.2.1.1. Verificación de micromedidor	27
2.2.1.2. Tipos de medidores	28
2.2.2. Características de los micromedidores	29

**PLANTACIÓN DE UN PROGRAMA DE DETECCIÓN Y CONTROL DE FUGAS EN REDES DE  
DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.**

---

	PÁG.
2.2.3. Medición del agua en ciudades mexicanas . . . . .	31
2.2.3.1. Medición en fuentes de abastecimiento . . . . .	31
2.2.3.2. Medición domiciliaria . . . . .	33
2.3. Determinación de consumos . . . . .	35
3. Programa de detección de fugas . . . . .	36
3.1. Registro de reportes . . . . .	36
3.1.1. Recepción y verificación de los reportes . . . . .	36
3.1.2. Envío y control de los reportes de fuga . . . . .	36
3.2. Registro de tomas domiciliarias . . . . .	37
3.3. Técnicas de localización de fugas . . . . .	38
3.3.1. Técnicas de simple inspección . . . . .	38
3.3.1.1. Medición en sectores . . . . .	38
3.3.1.2. Presión diferencial . . . . .	42
3.3.1.3. Técnica con trazadores . . . . .	43
3.3.2. Localización de equipos mecánicos y electrónicos . . . . .	44
3.3.2.1. Descripción de equipos de detección en fugas . . . . .	50
3.3.2.1.1. Localizadores de tuberías y válvulas . . . . .	50
3.3.2.1.2. Equipos detectores mecánicos . . . . .	52
3.3.2.1.3. Equipos detectores eléctricos de detección directa . . . . .	53
3.3.2.1.4. Equipos detectores electrónicos de detección indirecta . . . . .	58
3.3.3. Técnicas de reparación de fugas . . . . .	63
3.3.3.1. Elementos de decisión para el reemplazo o rehabilitación de tuberías . . . . .	63
4. Análisis hidráulico de la red de distribución . . . . .	65
4.1. Catastro de la red de distribución . . . . .	65
4.1.1. Catastro de instalaciones . . . . .	66
4.2. Análisis hidráulico de la situación actual de la red de distribución . . . . .	67
4.2.1. Catastro de la red de distribución . . . . .	68
4.2.2. Datos generales . . . . .	69

	PÁG.
4.2.3. Análisis hidráulico de la red de distribución . . . . .	72
4.3. Análisis hidráulico de la situación a futuro de la red de distribución . . . . .	79
4.3.1. Proyecto de sectorización . . . . .	80
4.3.2. Análisis hidráulico de la red de agua potable . . . . .	81
4.4. Obras de refuerzo y mejoramiento de la red de distribución . . . . .	87
5. Programa de control de fugas . . . . .	89
5.1. Componentes generales . . . . .	89
5.2. Programa de obras . . . . .	91
5.2.1. Organización del personal, equipo, herramienta y material . . . . .	91
5.2.2. Acciones a seguir para la ejecución de la obra . . . . .	91
5.3. Programa de inversiones . . . . .	96
5.4. Operación y mantenimiento . . . . .	97
5.4.1. Mantenimiento de unidades operacionales . . . . .	97
5.4.2. Técnicas de reparación y sustitución de tuberías principales . . . . .	97
5.5. Evaluación del programa . . . . .	99
6. Conclusiones y Recomendaciones . . . . .	101
6.1. Conclusiones . . . . .	101
6.2. Recomendaciones . . . . .	102
Bibliografía . . . . .	104
Anexos . . . . .	105

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁG.
1.1.2.4-1 Clasificación de las fugas . . . . .	10
2.2.2-1 Micromedidor marca Delaunet . . . . .	29
2.2.2-2 Micromedidor marca Azteca . . . . .	30
2.2.2-3 Micromedidor marca Kent . . . . .	30
2.2.2-4 Micromedidor marca Badger . . . . .	30
2.2.2-5 Micromedidor marca Triden . . . . .	30
4.2-1 Métodos de análisis de redes de distribución de agua potable . . . . .	67
4.2.2-1 Consumo medio según tipo de población . . . . .	70
4.2.2-2 Datos básicos de la localidad . . . . .	71
4.2.3-1 Análisis hidráulico de la red de agua potable resultados de los tramos . . . . .	72
4.2.3-2 Análisis hidráulico de la red de agua potable resultados de los nudos . . . . .	76
4.3-1 Proyecto de la población y dotación al año 2021 . . . . .	79
4.3.2-1 Análisis hidráulico de la red de agua potable resultados de los tramos . . . . .	82
4.3.2-2 Análisis hidráulico de la red de agua potable resultados de los nudos . . . . .	84
4.4-1 Estimaciones confiables de la durabilidad de las tuberías . . . . .	88
5.2.2-1 Requisitos para el control de fugas . . . . .	93

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁG.
1.1.2-1 Ubicación de las fugas en las líneas principales y secundarias . . . . .	6
1.2.1-1 Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada, por entidad federal . . . . .	11
1.2.1-2 Regiones hidrológicas . . . . .	12
3.3.2.1.1-1 Equipo localizador de cajas de válvulas Metrotech Mod. 220 . . . . .	50
3.3.2.1.1-2 Equipo localizador de tubería Metrotech Mod. 880 . . . . .	51
3.3.2.1.2-1 Geofonos para localizar fugas . . . . .	52
3.3.2.1.3-1 Equipo detector Fisher Mod. XLT 20 . . . . .	54
3.3.2.1.3-2 Equipo detector de fugas Aqua Phon . . . . .	55
3.3.2.1.3-3 Equipo detector de fugas Metrotech Mod. 200L . . . . .	56
3.3.2.1.3-4 Equipo detector de fugas Aqua Phon . . . . .	57
3.3.2.1.4-1 Localizador de fugas Hydrotronic . . . . .	59
3.3.2.1.4-2 Equipo localizador de fugas Hydrotronic . . . . .	60
3.3.2.1.4-3 Localizador de fugas FCS Mod. L100 y L200 . . . . .	61
3.3.3.1-1 Esquema del proceso para decisión de reemplazo o rehabilitación de tubería . . . . .	64
5.4.2-1 Recubrimiento con mortero . . . . .	98
5.4.2-3 Sustitución de tuberías . . . . .	99

PLANTACIÓN DE UN PROGRAMA DE DETECCIÓN Y CONTROL DE FUGAS EN REDES DE  
DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

---

ÍNDICE DE CUADROS

	PÁG.
1.2.1-1 Cobertura de agua potable . . . . .	12
1.2.1-2 Cobertura por regiones hidrológicas para los servicios de agua potable . . .	13
1.2.2-1 Datos generales de las ciudades . . . . .	15
1.2.2-2 Datos generales de los sistemas . . . . .	16
1.2.2-3 Resultados de las pérdidas por fugas en la red de distribución . . . . .	17
1.2.2-4 Evaluación de pérdidas en ciudades de la republica mexicana . . . . .	18
2.2-1 Técnicas de uso eficiente del agua en el medio municipal . . . . .	25
2.2.3.1-1 Macromedición en 9 ciudades mexicanas . . . . .	32
2.2.3.1-2 Revisión y resultados en medidores tipo velocidad . . . . .	33
2.2.3.2-1 Relación de medidores probados . . . . .	34
3.2-1 Cobertura de agua potable a través de la variación del número de tomas . . .	37
3.3.2-1 Clasificación de algunos equipos detectores de fugas . . . . .	45

## INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento vital que sostiene a los ecosistemas y a la actividad humana, compone el 75% de nuestro cuerpo y cubre el 70% del planeta. Es esencial para la producción alimentaria, determina dónde vivimos, qué comemos y si estamos enfermos o saludables, en síntesis, es el fundamento del desarrollo, entendido éste como un bienestar en armonía entre ambiente y ser humano.

Ciertamente el agua es escasa si entendemos que menos del 3 por ciento del agua dulce que existe en el mundo está disponible, el resto se encuentra en los glaciares, en los polos y en el subsuelo. Los lagos y los ríos apenas tienen el 0.014 por ciento de toda el agua. (Aldama y Gómez, 1996:2)

Esta escasez conforme nuestros patrones conductuales, se hace evidente cuando la disponibilidad no rebasa los 1,700 m<sup>3</sup> por persona, (el promedio anual global de disponibilidad del recurso es de aproximadamente 7,400 m<sup>3</sup> por persona). Actualmente hay 22 países que tienen el recurso disponible con menos de 1,000 m<sup>3</sup> por persona y 18 países que tienen menos de 2,000 m<sup>3</sup>, por persona. En 1950 los países que enfrentaban escasez crónica eran apenas 9, para el año 2025 de continuar con los patrones de producción y consumo actuales, una de cada 3 personas vivirá en uno de los 52 países que enfrentarán esta escasez. (Consejo Mundial del Agua, 1996:7)

Las acciones que se ejecutan en materia de agua en México, están encaminadas a proporcionar el recurso en términos de cantidad, calidad y continuidad a los diferentes usuarios, bajo la premisa de un uso sustentable, considerando los siguientes aspectos: que el suministro de los servicios contribuya al bienestar social, que sea un factor para el desarrollo económico de las diferentes zonas y que se logre el equilibrio de las cuencas hidrológicas y se preserven las fuentes de abastecimiento para el futuro.

Proporcionar estos servicios para las generaciones actuales y futuras requiere de una voluntad política permanente, de un trabajo a largo plazo bien planeado, ordenado, decidido y de gran alcance en el que la sociedad participe de manera activa en la definición e implantación de las mejores opciones de desarrollo y preservación del recurso para garantizar la continuidad de las acciones emprendidas.

Una de estas acciones es el control del consumo diario, los volúmenes de agua no controlados y por ende, no facturados, se originan por las fugas propiamente dichas; por consumos o desperdicios en tomas sin medidor; por medidores desajustados o descompuestos; por tomas no registradas y en gran número por las tomas destinadas a servicios públicos, generalmente sin control.

El desperdicio de éste vital líquido representa una pérdida económica de la cantidad que el organismo operador del sistema ha erogado para sufragar el costo del bombeo de la potabilización y de la distribución del agua; en el consumo de energía eléctrica, lubricantes y reactivos para tratamiento, además de que son fondos que el organismo deja de percibir vía facturación, que podrían ser utilizados en acciones de mantenimiento y reparaciones de los daños que causan las fugas en instalaciones.

La falta de control ocasiona, además, que se sobre exploten las fuentes de abastecimiento para satisfacer la demanda real. Esta acción propicia el abatimiento de los niveles de los mantos acuíferos.

Las pérdidas en los sistemas de agua potable y alcantarillado se deben a la evaporación y filtración en los vasos de almacenamiento y regulación, a las fugas en las plantas potabilizadoras, a las fugas en las redes y en las tomas domiciliarias; a la imprecisión de la medición o a la ausencia de ella y en

consecuencia, a la mala estimación, a las tomas clandestinas y al agua no contabilizada que se usa en los servicios municipales, como el riego de áreas verdes o arbotantes para el control de incendios.

Con el objeto de analizar la problemática de la pérdida de agua, el presente trabajo está orientado a estudiar en forma general lo referente al control y detección de fugas de agua en las redes de distribución, con el fin de tratar de minimizarlas y dar una solución al problema.

Para este propósito, los capítulos que constituyen este trabajo se dividen como se describe a continuación:

El primer capítulo se refiere a los antecedentes de la situación del agua potable en el país, se describen los conceptos generales como son definiciones, tipos de pérdidas, causas de las pérdidas, estadísticas y la metodología a utilizarse en el control y prevención de las fugas de agua potable.

En el segundo capítulo se describe el control que se tiene de los usuarios del agua, esto se lleva a cabo con una micromedición, por lo que se mencionan diferentes tipos de medidores y como se lleva a cabo la medición en el país.

En el tercer capítulo se presenta el programa de detección de fugas, sus registros, las técnicas de localización y reparación de fugas. Además se presentan algunos ejemplos de los equipos de detección de fugas.

En el cuarto capítulo se presenta el ejemplo del análisis hidráulico de una red de agua potable en condiciones actuales y futuras, especificando las obras que se llevaran a cabo para su mejoramiento.

En el quinto capítulo se plantea el programa de control de fugas, la organización del personal, las acciones a seguir para la ejecución de obras como la reparación y sustitución de tuberías y el mantenimiento que se debe tener en las redes de agua.

En el sexto capítulo se presentan las conclusiones a las que se llegó en el transcurso del trabajo y algunas recomendaciones orientadas a distintas actividades para reducir el problema de las fugas en los sistemas de agua potable.

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1. CONCEPTOS GENERALES

Con el propósito de hacer más comprensible la lectura de este trabajo, enseguida se presenta la definición de los términos que son fundamentales y que se irán utilizando en el desarrollo del escrito.

#### 1.1.1. DEFINICIONES GENERALES

##### Definición de fuga

Una fuga es un escape físico de agua a través de roturas, perforaciones, rajaduras, etc. que se presentan en las tuberías de conducción y distribución de agua potable.

##### Aforo

Es el conjunto de actividades requeridas para medir el gasto o caudal en conductos.

##### Agua Captada

Es la que se deriva de las fuentes aprovechadas, para el servicio de distribución.

##### Agua suministrada

Es la parte del volumen captado que entra al sistema de distribución de la localidad.

##### Consumo horario

Es el consumo medio en una hora, expresado en litros por segundos

##### Consumo medio

Es el consumo total distribuido uniformemente en el tiempo, de acuerdo con el consumo total y con la unidad de tiempo que se desee; por esta razón se habla de consumo medio diario anual, cuando el periodo total es de un año y la unidad el día, consumo medio diario semanal cuando el volumen total corresponde a una semana y la unidad es el día, se expresa en unidades de gasto.

##### Consumo nocturno

Es el agua utilizada normalmente por los usuarios en una localidad entre las cero y cinco horas del día.

##### Distrito hidrométrico

Es un sector de la red de distribución, que se puede aislar hidráulicamente para efectos de medición de consumos y evaluación de fugas.

##### Gasto

Es el flujo de un volumen de agua por unidad de tiempo a través de una sección.

### Golpe de ariete

Es la sobrepresión que se presenta en las tuberías, cuando la velocidad del flujo se ve alterada provocando una transformación de la energía cinética a energía de presión, lo que significa que se han formado ondas de presión y gradientes que las inducen a propagarse.

### Habitantes servidos

Es el número de habitantes que consume el agua distribuida mediante la red del sistema y es el que se considera para los cálculos de fugas.

### Hidrante

Dispositivo que se utiliza para derivar el agua de la red de distribución, para el control de contingencias como incendios o bien, para servicios públicos.

### Manómetro

Es un dispositivo que sirve para medir la presión en un conducto cerrado, tomando como referencia la presión atmosférica.

### Micromedidor domiciliario

Es el aparato que registra volúmenes de agua utilizados en un predio.

### Piezómetro

Es un dispositivo que consiste en un tubo transparente de diámetro pequeño, conectado mediante un niple al interior de un conducto o un depósito y con el otro extremo abierto a la atmósfera. Se utiliza para medir presiones estáticas moderadas.

### Presión

Es la Fuerza ejercida perpendicularmente por unidad de área.

$$P = \frac{F}{A}$$

donde:

P presión, en (N/m<sup>2</sup>=Pascal)

F fuerza perpendicular, en Newton

A área, en m<sup>2</sup>

### Presión estática

Es la presión que corresponde a los casos en que el agua no circula en la red estando llenas sus tuberías. En columna de agua equivale a la diferencia entre las cotas correspondientes al plano de carga y el punto considerando.

### Presión dinámica

Es la presión existente cuando el agua está circulando dentro de las tuberías.

### Presiones negativas

Son los valores de la presión dinámica inferiores a la presión atmosférica.

### Presión de servicio

Es la presión dinámica cuyo valor es mayor que cero pero inferior al de la presión estática.

### Presión mínima de servicio

Es el valor de presión mínimo capaz de atender a dos clases de requerimientos: 1) para los domicilios de la población y 2) para los del servicio contra incendios.

### Red de distribución

Se les llama así al conjunto de tuberías, accesorios y estructuras instalados en una localidad, mediante las cuales se entrega el agua a los predios en la zona de servicios. Las tuberías se conectan entre sí por medio de piezas especiales en los cruceros y se aísla por tramos mediante válvulas de seccionamiento que permiten la operación y el control de la red en condiciones de seguridad y servicios adecuados.

### Sistema de distribución

Es el conjunto formado por la red de distribución y la toma de agua potable.

### Sondeo

Es la acción de ubicar, medir y registrar las variables físicas que determinan el funcionamiento de un sistema, por ejemplo: presión, caudal, velocidad y fugas.

### Sobre-presión

Son las presiones con valores superiores al de la presión estática, generalmente se presentan en forma transitoria como consecuencia de golpes de ariete.

### Toma domiciliaria

Es parte de la red de distribución por medio de la cual se deriva el agua desde las tuberías principales y secundarias hasta los predios, está constituida por dos elementos básicos, que son: el ramal y el cuadro.

### 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 facturación. En esta categoría están incluidos los consumos operacionales para lavado y desinfección de tuberías y tanques de almacenamiento.

### Volumen facturado

Es la cantidad de agua, expresada en m<sup>3</sup>, equivalente al volumen de consumo medido y estimado que debe cobrarse en un período de facturación.

### Zonas de presión

Es la diferencia entre las presiones de servicio máxima y mínima especificadas para cada sector de la red.

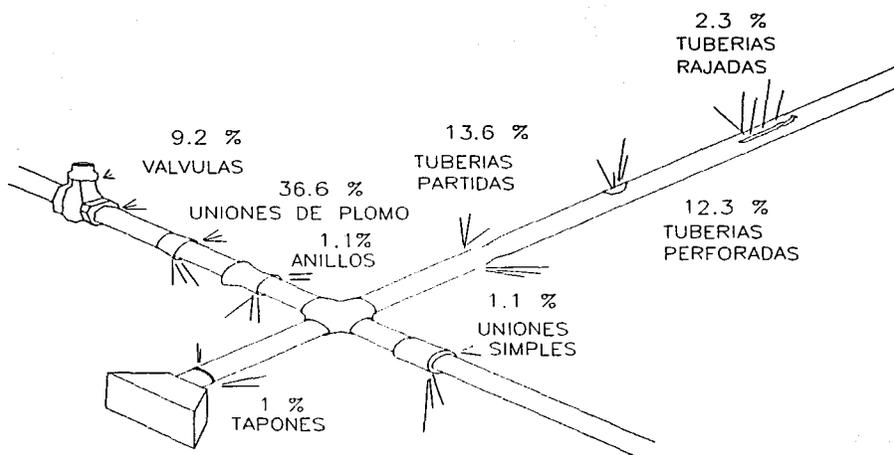
### 1.1.2. CONCEPTOS BÁSICOS DE FUGAS

Una fuga se define como la salida no controlada del agua por cualquiera de los elementos del sistema de distribución de agua potable.

Las fugas pueden variar dependiendo del: tipo de suelo, la calidad del agua, las especificaciones, materiales utilizados, la edad de las instalaciones y las prácticas de operación y mantenimiento.

Las fugas también pueden ocurrir en tanques de almacenamiento, debido al agrietamiento de las estructuras o al rebose de las mismas. En la red, las fugas pueden presentarse como consecuencia de agrietamiento transversal, aplastamiento y agrietamiento longitudinal; el primero se debe a esfuerzos y vibraciones producidas por cargas superficiales; el segundo es resultado de una construcción defectuosa y el tercero se debe a fatiga de materiales (defecto de fábrica o golpe de ariete). En la siguiente figura 1.1.2-1 se observa la ubicación de las fugas que se presentan con mayor frecuencia en la red de agua potable, así como el porcentaje promedio. (CEPIS, 1993)

**Figura 1.1.2 - 1**  
**UBICACIÓN Y FRECUENCIA DE LAS FUGAS EN LAS LÍNEAS**  
**PRINCIPALES Y SECUNDARIAS**



#### 1.1.2.1. TIPOS DE PÉRDIDAS

##### Pérdidas físicas

Representan el volumen de agua no facturado debido a causas como: el rebose de los tanques de almacenamiento, el escape de agua que ocurre en tuberías y demás elementos del sistema de distribución, por fallas en la hermeticidad de los mismos. Las pérdidas físicas son las que provocan

la disminución de la disponibilidad de agua, obligando al aumento de la oferta para satisfacer la demanda y al incremento en los costos de producción.

Dichas pérdidas ocurren principalmente por concepto de:

#### Fugas

- \* En conducciones y redes de distribución
- \* En estaciones de bombeo
- \* En plantas potabilizadoras
- \* En tomas domiciliarias

#### Derrames

- \* En canales alimentadores
- \* En plantas potabilizadoras
- \* En cárcamos de bombeo
- \* En cajas de regularización
- \* En tanques

#### Consumos de procesos excesivos

- \* En lavado de filtros
- \* En las purgas de la conducción y de las redes de distribución
- \* En la limpieza y desinfección de tanques
- \* En las reparaciones de redes y tuberías en general

#### Consumos extraordinarios

- \* Combate de incendios
- \* Lavado y desinfección de redes nuevas
- \* Fuentes de ornato

#### Pérdidas comerciales

Las pérdidas comerciales son las que impiden la captación plena de los ingresos previstos para recuperar los gastos ocasionados por la prestación del servicio.

Dichas pérdidas ocurren principalmente por concepto de:

#### Consumos gratuitos

- \* En edificios públicos y usuarios privados
- \* En áreas verdes

#### Consumos clandestinos

- \* Por toma clandestina (sin registro)
- \* Por derivación en la conexión del medidor (by pass)

### Errores de micro medición

- \* Por desperfectos en medidores
- \* Por incompatibilidad de la capacidad del medidor con el consumo del usuario.
- \* Por error o falta de control en la lectura

### Errores de estimación de consumos no medidos

- \* Cobertura de micro medición insuficiente
- \* Procedimientos inadecuados en la estimación

#### 1.1.2.2. DÓNDE SE PRODUCEN LAS FUGAS

##### Fugas en los tanques

El agua puede fugarse de los tanques por rupturas o rebalses. Aquellas por rupturas pueden ser visibles o no. En cualquier caso, cerrando la entrada y la salida y verificando que efectivamente estas válvulas cierran herméticamente, se mide la altura que desciende el agua en determinado tiempo, la altura multiplicada por el área del tanque y por el tiempo será el volumen perdido. Las fugas por rebalse, generalmente son de gran magnitud por lo que merecen especial atención la inspección y el mantenimiento de las válvulas de control del nivel en el tanque, sean flotadores o válvulas de altitud.

##### Fugas en las conducciones y tuberías principales

Estas fugas se presentan en las juntas o uniones y en el cuerpo del tubo. Las primeras ocurren con mayor frecuencia en uniones con plomo que en las automáticas o mecánicas, también se dan en uniones flexibles, tales como la triplex de asbesto - cemento y otras similares como gibault o dresser. Las segundas corresponden a tuberías perforadas y rajadas por efecto de la corrosión, esfuerzos concentrados y sobrepresiones.

##### Fugas en las acometidas o tuberías de servicio

Estas fugas se presentan también en las uniones y el cuerpo del tubo. Los daños en las acometidas son de menor trascendencia que los daños en las conducciones y en las redes, pero se presentan con mayor frecuencia.

##### Fugas dentro de los domicilios

Dentro de los domicilios las fugas mayores se dan en los flotadores, por desgaste, mal funcionamiento o por que no existen del todo. En válvulas o grifos de servicios, por desgaste o falta de empaques y, con menor frecuencia, por rupturas en tuberías expuestas o empotradas en la construcción.

### 1.1.2.3. CAUSAS QUE PRODUCEN LAS FUGAS

Las causas más relevantes que inciden en la producción de una fuga son:

#### Alta presión

La presión en un sistema de distribución tiene tres efectos que deben considerarse:

1. Una fuga existente aumentará su magnitud con la presión.
2. La incidencia de fugas aumenta con la presión.
3. 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.

#### Corrosión

El acarreo de aguas corrosivas o agresivas puede causar en ocasiones ataque a las tuberías metálicas, causando su debilitamiento.

#### Efectos de tráfico

Las tuberías antiguas ubicadas bajo superficies no diseñadas para aceptar las cargas impuestas por el tráfico moderno son muy susceptibles a fracturarse, especialmente aquellas con uniones rígidas. Las tuberías de instalación resientes pueden sufrir daños similares, si la profundidad y compactación del terreno no son las adecuadas.

#### Movimientos de suelo

Esta es una causa bien conocida de fugas, especialmente en suelos arcillosos que se expanden y contraen de acuerdo con el contenido de humedad. Los temblores afectan las tuberías produciendo fugas, en mayor o menor grado.

#### Mala calidad de materiales y accesorios

La mala calidad de materiales y accesorios redunda en una vida útil corta, reparaciones defectuosas y frecuentes que implican a su vez desperdicios de agua.

#### Mala calidad de mano de obra

La mala calidad de mano de obra implica trabajos defectuosos y de mayor duración en la ejecución, por lo tanto es indispensable el adiestrar al personal en las técnicas de fontanería mas adecuadas y dotársele del equipo y herramientas necesarias.

#### Golpe de ariete

Los resultados de este efecto son las fallas debidas a altas presiones que producen fracturas en las tuberías principales y de servicio, así como desplazamientos en los bloques de anclaje. Debe adiestrarse al personal para abrir y cerrar las válvulas con el tiempo suficiente para impedir la formación de ondas de sobrepresión.

### Defectos dentro de los domicilios

Un alto porcentaje de las fugas dentro de los domicilios se debe a malos empaques en las válvulas y a flotadores defectuosos.

### Edad de las tuberías

En general, la corrosión externa e interna se incrementa con el tiempo y por consiguiente conforme más viejas son las tuberías, mayor incidencia de fugas se presenta.

#### 1.1.2.4. CLASIFICACIÓN DE LAS FUGAS

Las fugas se clasifican de acuerdo a su tamaño o a la magnitud de la fuga, como se presenta a continuación:

La clasificación de las fugas según su tamaño se divide en tres categorías:

**Categoría 1:** esta categoría incluye las fugas muy pequeñas, por ejemplo aquellas que se presentan en las juntas o uniones en tuberías principales o de servicio y que son prácticamente exudaciones o goteos. Estas fugas no son detectables por técnicas normales. Más aún, algunas de estas fugas pueden ser visibles como goteo en una válvula, pero puede ser que no se reparen oportunamente.

**Categoría 2:** se incluyen dentro de esta categoría las fugas pequeñas que en conjunto contribuyen en un alto porcentaje al desperdicio total en un sector de fugas, pero que no son aparentes excepto cuando se lleva a cabo una inspección detallada y algunas veces el uso de técnicas más sofisticadas, tales como medición y sondeo con equipos acústicos.

**Categoría 3:** aquí se incluyen las fugas grandes que se evidencian por varios mecanismos, tales como roturas en el pavimento, agua fluyendo visiblemente, ruido en las casas, baja presión y falta de agua.

La clasificación en base al caudal de la fuga, se cataloga de la siguiente manera:

**Tabla 1.1.2.4 - 1**  
**CLASIFICACIÓN DE LAS FUGAS**

DESIGNACIÓN	MAGNITUD (L/S)
D	goteo - 0.025
A	0.030 - 0.320
B	0.380 - 1.260
C	Mayor de 1.260

Las fugas de categoría D y parte de las fugas de la categoría A, corresponden a la categoría 1, anteriormente descrita, así como la categoría B corresponde a la categoría 2 y la categoría C corresponde a la categoría 3.

## 1.2. PROBLEMAS DE FUGAS EN EL PAÍS.

Para conocer los problemas que se tiene en el país de fugas de agua potable, primeramente se mencionará la situación de los servicios actuales y los planes de desarrollo de los mismos.

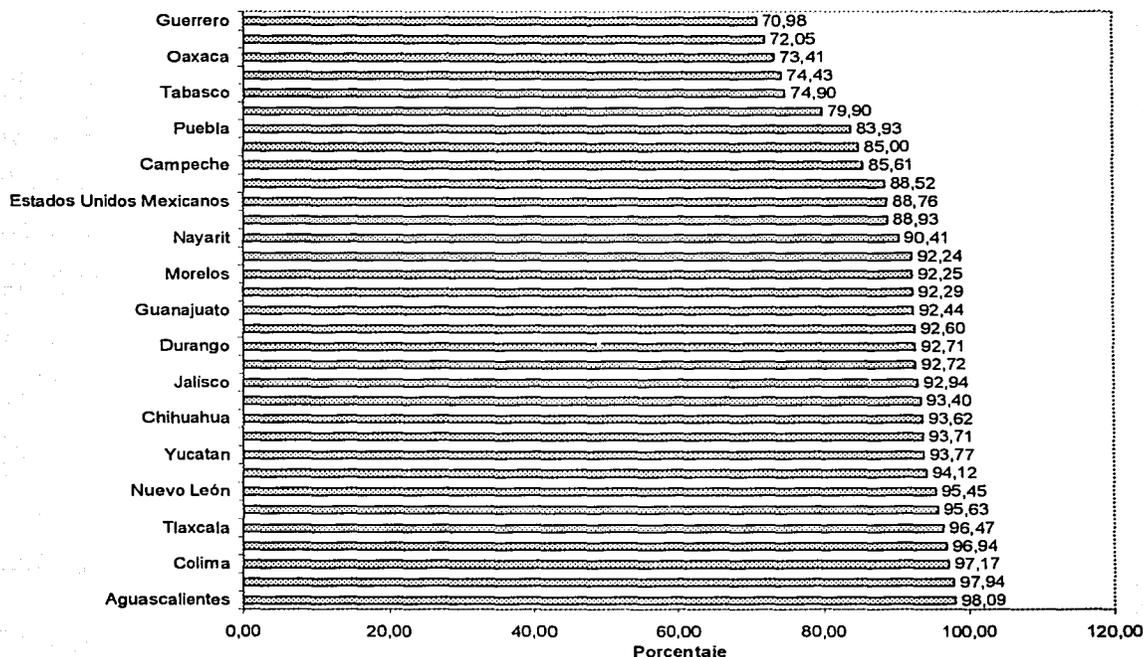
### 1.2.1. SITUACIÓN DE LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE

#### 1.2.1.1. COBERTURA

En 1990 la cobertura de la infraestructura nacional de agua potable era del 77.7%, para 1998 este valor se incrementó al 86.4% y para el 2000 el valor se incremento a 88%, lo que representó un aumento en el número de habitantes que cuentan con este servicio de prácticamente 1 millón de habitantes.

Mientras que en 1990 once entidades federativas contaban con cobertura superior al 85%, para el 2000 el número se incrementó a veintiséis; en tanto que el número de entidades con coberturas inferiores al 70% se redujo de diez a cero, como se aprecia en la figura 1.2.1-1 siguiente:

**Figura 1.2.1-1**  
**PORCENTAJE DE VIVIENDAS PARTICULARES HABITADAS QUE DISPONEN DE AGUA ENTUBADA, POR ENTIDAD FEDERATIVA**



Fuente: INEGI

El número total de habitantes que cuentan con los servicios es de 83.8 millones, divididos en la siguiente forma.

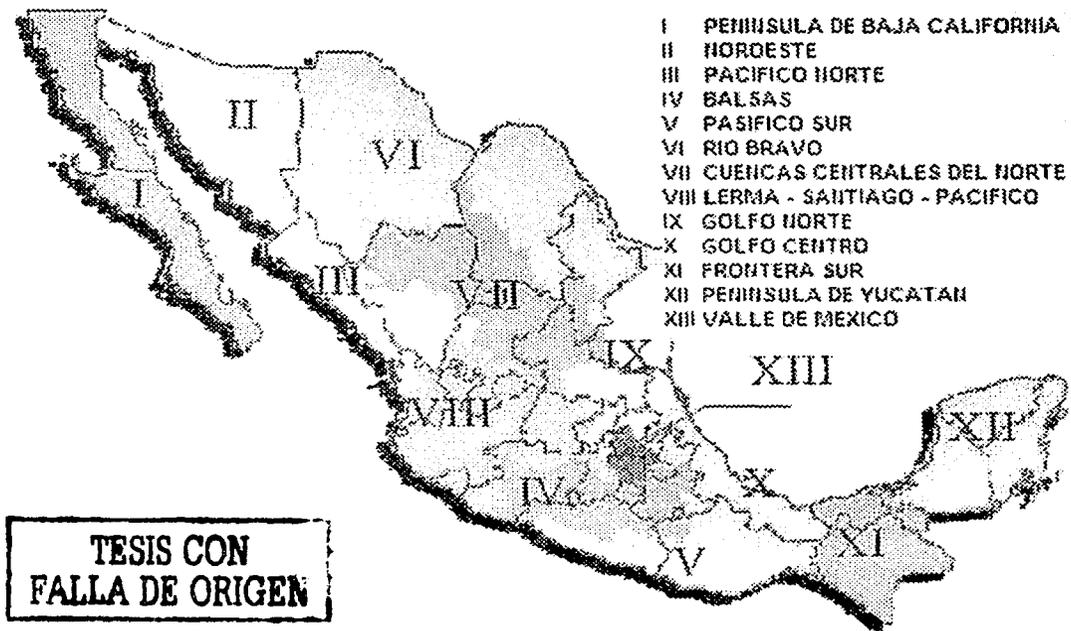
**Cuadro 1.2.1 - 1**  
**COBERTURA DE AGUA POTABLE**

TIPO DE POBLACIÓN	POBLACIÓN TOTAL (MILL. HAB)	POBLACIÓN EN VIVIENDAS PARTICULARES (MILL. HAB)	AGUA POTABLE	
			MILLONES DE HABITANTES	%
Urbana	72.7	71.1	67.3	95.0
Rural	24.7	24.2	16.5	68.0
TOTAL	97.4	95.3	83.8	88.0

Fuente: Situación a febrero de 2000. XII Censo General de Población y Vivienda. INEGI. Los cálculos de cobertura de agua potable se realizaron en base a la población que habita en viviendas particulares ya que 2.1 millones de habitantes faltantes el INEGI no reportó información al respecto.

En enero de 1999, se calculó la cobertura de los servicios de agua potable, para los 2,428 municipios que conforman las 13 regiones hidrológicas administrativas (ver figura 1.2.1-2).

**Fig. 1.2.1 - 2**  
**REGIONES HIDROLÓGICAS**



La región que tiene mayor cobertura es Río Bravo con 97.8% y la que presenta la menor cobertura es Golfo Centro con el 66.2%. Como se observa en el siguiente cuadro 1.2.1-2.

**Cuadro 1.2.1 - 2**  
**COBERTURA POR REGIONES HIDROLÓGICAS, PARA LOS SERVICIOS DE**  
**AGUA POTABLE**

REGIÓN HIDROLÓGICA	POBLACIÓN TOTAL	POBLACIÓN CON SERVICIO		POBLACIÓN SIN SERVICIO	
		CANTIDAD	%	CANTIDAD	%
I Península de Baja California	2,861,544	2,732,119	95.5	129,425	4.5
II Noroeste	2,375,638	2,311,500	97.3	64,138	2.7
III Pacífico Norte	3,873,990	3,635,447	93.8	238,543	6.2
IV Balsas	9,928,454	8,238,017	83.0	1,690,437	17.0
V Pacífico Sur	3,877,149	2,751,321	71.0	1,125,828	29.0
VI Río Bravo	9,253,913	9,049,194	97.8	204,719	2.2
VII Cuencas Centrales del Norte	3,785,085	3,603,327	95.2	181,758	4.8
VIII Lerma - Santiago - Pacífico	18,831,777	17,599,854	93.5	1,231,923	6.5
IX Golfo Norte	4,825,930	3,469,120	71.9	1,356,810	28.1
X Golfo Centro	9,176,049	6,072,331	66.2	3,103,718	33.8
XI Frontera Sur	5,804,444	4,035,747	69.5	1,768,697	30.5
XII Península de Yucatán	3,242,155	2,946,015	90.9	296,140	9.1
XIII Valle de México	19,447,332	18,542,854	95.4	904,478	4.7
TOTAL	97,283,460	84,986,846	87.4	12,296,614	12.6

Fuente: CNA, septiembre de 1999

### 1.2.1.2. PLANES Y ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO DEL SECTOR HIDRÁULICO

El Programa Hidráulico Nacional es el instrumento mediante el cual se actualiza la política hidráulica del país, éste emana del Plan Nacional de Desarrollo y ambos se actualizan cada seis años.

Actualmente se generan programas para cada una de las 13 regiones hidrológico - administrativas en que se ha dividido el país. Estos programas incluyen una amplia participación de los usuarios desde la caracterización de la problemática misma, hasta la definición de las estrategias y acciones específicas para su solución.

Entre los aspectos más importantes que se realizan actualmente en materia de agua potable y saneamiento, destacan la construcción de infraestructura para ampliar las coberturas de agua potable y saneamiento.

Un elemento esencial lo constituye la captación y generación de los recursos económicos que son necesarios para alcanzar las metas planteadas dentro de un escenario deseable para el año 2020 y que requieren del orden de 12,000 millones de pesos anuales de inversión, sin incluir mantenimiento y operación.

Las metas que se contemplan en el escenario deseable son:

- \* Cobertura de agua potable urbana del 99%
- \* Cobertura de agua potable rural del 90%
- \* Cobertura de alcantarillado urbano del 98%
- \* Cobertura de alcantarillado rural del 85%
- \* Cobertura de tratamiento del 80% de las aguas residuales recolectadas

Por otra parte, se lleva a cabo una campaña nacional para crear conciencia entre los organismos operadores y usuarios finales sobre la necesidad del buen uso y preservación del agua y la infraestructura.

Para mantener los niveles de cobertura alcanzados en las zonas urbanas y disminuir los rezagos en las zonas rurales, se aplican las siguientes estrategias:

### **Zonas rurales**

En este tipo de localidades se otorgan subsidios a través de las tres instancias de gobierno para la terminación o construcción de obras de agua y saneamiento y se promueve la participación de la población en la operación y mantenimiento de los sistemas para contribuir a asegurar su duración.

En localidades con poblaciones menores a 499 habitantes se instalan hidrantes públicos, en tanto que en localidades con poblaciones entre 500 y 2,500 habitantes el servicio se proporciona a través de la toma domiciliaria.

### **Zonas Urbanas**

En las ciudades medias (localidades con una población de hasta 50,000 habitantes) existen apoyos financieros que generalmente son una combinación de recursos fiscales federales y locales a fondo perdido, así como créditos de la banca de desarrollo que complementan los flujos de caja de los organismos operadores. Se prevé a largo plazo la autosuficiencia financiera de estos organismos.

En las grandes ciudades (localidades con más de 50,000 habitantes) se propicia la autosuficiencia financiera de sus organismos operadores; mientras tanto, en el corto plazo estos organismos cuentan con apoyos fiscales y crediticios. Como un instrumento para lograr la autosuficiencia, se estimula la participación privada en la administración e inversión en los sistemas de agua potable.

Se realizan también inversiones adicionales de la federación y se implantan los mecanismos que en paralelo permitan incrementar la eficiencia en el suministro.

### 1.2.2. EVALUACIÓN DE LAS FUGAS DE AGUA POTABLE

Debido al acelerado crecimiento de la población, la demanda de agua potable se incrementa, continuamente, agotando las fuentes de abastecimiento cercanas, esto obliga a buscar fuentes más alejadas de los centros de población, con el consecuente incremento en los costos de producción y distribución.

De estudios realizados en 15 ciudades del país por el Instituto Mexicano Tecnológico del agua (IMTA) para evaluar las pérdidas por fugas de agua potable en sistemas de distribución, promediando los resultados se tiene lo siguiente: del total de fugas reportadas anualmente, 73% corresponde a tomas domiciliarias y 27 a la red principal. La ocurrencia de fugas en tomas domiciliarias es de 15%, con un gasto de fuga de 44 ml/s, lo cual representa, el 26% de pérdidas respecto al total entregado a la red.

Del total de tomas con fuga, considerando el tipo de material de éstas, se reporta lo siguiente: 58% son poliducto, 26% de cobre y 16% de fierro galvanizado. De acuerdo al tipo de falla, 47% es rajadura, 15% perforación, 16% rotura, 13% piezas flojas y 9% corte. Por localización de la fuga, se reporta que: 74% ocurre en la tubería, 11% en la inserción, 4% en niples, 3% en codos, 6% en válvulas, 1% en tuerca unión y coples.

Asimismo, se ha estimado que las fugas en la red representan el 10% de pérdidas respecto al volumen (o gasto) total entregado al sistema. Se ha calculado que la pérdida total promedio por fugas en sistemas de distribución, es de 38%, esto significa, que más de la tercera parte del agua que se entrega a la red y está lista para ser consumida se pierde debido a la existencia de fugas. Sin embargo, dicha pérdida se puede reducir sustancialmente, mediante la implantación de un programa de detección y control de fugas.

Los datos generales de cada ciudad y sus sistemas de distribución de agua potable, con los cuales se tiene una visión general de la diversidad de climas, tamaños de población, tipos de fuentes de abastecimiento y su producción promedio, capacidad de regularización y la continuidad del servicio, se muestran en los cuadros 1.2.2-1 y 1.2.2-2 siguientes:

**Cuadro 1.2.2 - 1**  
**DATOS GENERALES DE LAS CIUDADES**

CIUDAD	CLIMA	POBLACIÓN (HAB) 1991	SERVICIO TANDEADO	NO. DE SECTORES	TEMPERATURA MEDIA ANUAL °C
Cancún, Q. Roo	Cálido húmedo con lluvias	204,927	Si	8	27.5
Chihuahua, Chih.	Semiseco	775,215	Si	4	21.7
Coahuila de Zaragoza, Coah.	Cálido húmedo	232,314	No	8	23.9
Constitución, B.C.S.	Cálido seco	44,075	No	3	16.0
Durango, Dgo.	Templado	413,835	Si	11	17.0
Guaymas, Son.	Cálido húmedo	128,960	Si	15	24.9
Juárez, Chih.	Seco semidesértico extremo	998,337	No	5	18.0
Los Cabos, B.C.S.	Seco desértico	43,810	Si	15	24.0
Oaxaca, Oax.	Semicálido caliente	300,000	Si	7	27.5

CIUDAD	CLIMA	POBLACIÓN (HAB) 1991	SERVICIO TANDEADO	NO. DE SECTORES	TEMPERATURA MEDIA ANUAL °C
Querétaro, Qro.	Semiseco templado	488,303	Si	30	18.7
Tapachula, Chis.	Cálido húmedo	152,218	Si	4	25.8
Tuxtla Gtz., Chis.	Cálido subhúmedo	340,300	Si	30	25.3
Veracruz, Ver.	Tropical cálido subhúmedo	500,688	No	8	25.3
Jalapa, Ver.	Templado húmedo	286,486	No	4	19.2
Zacatecas, Zac.	Semiseco	212,914	No	8	16.0

Fuente: Instituto Mexicano de tecnología del Agua, (IMTA)

**Cuadro 1.2.2 - 2**  
**DATOS GENERALES DE LOS SISTEMAS**

CIUDADES	FUENTES DE ABASTECIMIENTO PRODUCCIÓN EN (L/S)								PRODUCCIÓN PROMEDIO (L/S)	TANQUES	
	POZOS		MANANTIALES		RÍOS		PRESAS			CAPACIDAD DE REGULACIÓN	
	Nº	Gasto	Nº	Gasto	Nº	Gasto	Nº	Gasto		Nº	En (m3)
Cancún, Q. Roo	107	940.0							940.0	1	1,000
Chihuahua, Chih.	69	3,140.8					2	348.0	3,488.8	51	113,265
Coatzacoalcos, Ver	9	58.9			1		1*	670.8	729.7	6	22,200
Constitución, B.C.S.	5	165.1							165.1	4	1,450
Durango, Dgo.	66	2,128.0							2,128.0	32	20,076
Guaymas, Son.	16	488.0							488.0	6	3,000
Juárez, Chih.	115	4,147.0							4,147.0		86,600
Los Cabos, B.C.S.	5	267.6							267.6	6	1,490
Oaxaca, Oax.	42	605.5	5	155.3					720.8	12	17,700
Querétaro, Qro.	45	1,783.0							1,783.0	31	42,000
Tapachula, Chis.	7	124.8			1	651.7			776.5	2	1,200
Tuxtla Gtz., Chis.					2	1,162.0			1,162.0	34	31,900
Veracruz, Ver.	31	1,609.0			1	1,260.0			2,869.0	9	40,000

CIUDADES	FUENTES DE ABASTECIMIENTO PRODUCCIÓN EN (L/S)								PRODUCCIÓN PROMEDIO (L/S)	TANQUES	
	POZOS		MANANTIALES		RÍOS		PRESAS			CAPACIDAD DE REGULACIÓN	
	Nº	Gasto	Nº	Gasto	Nº	Gasto	Nº	Gasto		Nº	En (m3)
Jalapa, Ver.			5	268.0	7	947.0			1,215.0	27	12,000
Zacatecas, Zac.	26	408.1	1	5.0					485.1	16	17,400
Total	543	15,937.8	11	388.3	12	4,020.7	3	1,018.8	21,365.6	237	411,281

Fuente: Instituto Mexicano de tecnología del Agua, (IMTA)

Nota: \* La presa capta el río y el manantial.

### Evaluación de pérdidas en la red

El método de Distritos Hidrométricos permite identificar en sectores aislados de la red de distribución, índices de pérdidas globales, consumos reales, consumos específicos promedio, consumos horarios máximos y mínimos nocturnos, consumos horarios promedio y volúmenes totales de pérdidas; asimismo, utilizando los resultados de fugas en tomas domiciliarias, es posible estimar el volumen de pérdidas en la red para esos sectores e inferirlos al total de la red de distribución, aún cuando no se consideran representativos, sino más bien indicativos del problema.

El siguiente cuadro 1.2.2-3 se indican los gastos perdidos por fugas en la red, a partir de los datos registrados en los distritos hidrométricos, como son: volumen abastecido, volumen real consumido, y el volumen por fugas en tomas domiciliarias; con estos valores se determina el volumen de pérdidas por fugas en la red. También se indican los porcentajes que representan respecto al gasto suministrado.

**Cuadro 1.2.2 - 3**  
**RESULTADOS DE LAS PERDIDAS POR FUGAS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN**

CIUDADES	Q <sub>MED.</sub> ANUAL PRODUCIDO (l/s)	Q <sub>PROM.</sub> POR FUGAS EN RED	
		(l/s)	%
Cancun, Q. Roo	940.0	146.7	15.6
Chihuahua, Chih.	3,488.8	896.0	25.7
Coatzacoalcos, Ver	729.7	31.9	4.4
Constitución, B.C.S.	165.1	2.0	1.2
Durango, Dgo.	2,128.0	236.0	11.1
Guaymas, Son.	488.0	8.6	1.8
Juárez, Chih.	4,147.0	239.7	5.8
Los Cabos, B.C.S.	267.6	32.2	12.0
Oaxaca, Oax.	720.8	8.2	1.1

CIUDADES	Q <sub>MED.</sub> ANUAL PRODUCIDO (l/s)	Q <sub>PROM.</sub> POR FUGAS EN RED	
		(l/s)	%
Querétaro, Qro.	1,783.0	50.0	2.8
Tapachula, Chis.	776.5	170	21.9
Tuxtla Gtz., Chis.	1,162.0	174.3	15.0
Veracruz, Ver.	2,869.0	4.0	0.1
Jalapa, Ver.	1,215.0	108.0	8.9
Zacatecas, Zac.	485.1	14.8	3.1
Total	21,365.6	2,122	100

Fuente: Instituto Mexicano de tecnología del Agua, (IMTA)

Respecto a la información general de los sistemas, se destaca lo siguiente:

La población total de las 15 ciudades es de 5, 124,382 hab, con 843,879 tomas; de las cuales el 39% no tiene medidor, el 61% tiene medidor, de estas últimas el 71% tienen medidor funcionando y el 29% tiene medidor descompuesto. Por otra parte, se abastecen de 543 pozos, 11 manantiales, 12 ríos y 2 presas, cuyos gastos producidos por ciudad varían de 165 a 4,150 l/s; y se utilizan 237 tanques de almacenamiento y regulación.

A continuación se presenta un concentrado (cuadro 1.2.2-4) de los resultados totales de pérdidas, en el cual se indica la ciudad, el gasto promedio de la producción, porcentajes de fugas reportadas en tomas domiciliarias y red de distribución, gastos totales que se pierde con respecto a la producción total, gasto submedido por mal funcionamiento de los micromedidores, y el total de pérdidas en la ciudad correspondiente.

**Cuadro 1.2.2 - 4**  
**EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS EN CIUDADES DE LA REPUBLICA MEXICANA**

CIUDAD	GASTO PROMEDIO SUMINISTRADO (L/S)	TOMAS CON FUGAS %	GASTO PERDIDO POR FUGAS EN TOMAS		GASTO PERDIDO POR FUGAS EN RED		GASTO SUBMEDIDO POR MEDIDORES		% TOTAL DE PERDIDAS EN EL SISTEMA
			(L/S)	%	(L/S)	%	(L/S)	%	
Cancun, Q. Roo	940	38	226	24.1	146.8	15.6	2.4	0.3	40.00
Chihuahua, Chih.	3,489	5	552	15.8	896.0	27.7	0.0	0.0	43.50
Coatzacoalcos, Ver	730	19	289	39.7	31.9	4.4	0.0	0.0	44.10
Constitución, B.C.S.	165	35	52	31.4	2.0	1.2	1.3	0.8	33.44
Durango, Dgo.	2,128	21	650	30.5	236.0	11.1	0.0	0.0	41.63
Guaymas, Son.	488	30	114	23.4	8.6	1.8	5.2	1.1	26.30
Juárez, Chih.	4,147	19	1,241	29.9	239.7	5.8	0.0	0.0	35.70
Los Cabos, B.C.S.	268	34	61	22.6	32.2	12.0	7.9	3.0	37.63
Oaxaca, Oax.	721	24	427	59.2	8.2	1.1	0.0	0.0	60.34

CIUDAD	GASTO PROMEDIO SUMINISTRADO (L/S)	TOMAS CON FUGAS %	GASTO PERDIDO POR FUGAS EN TOMAS		GASTO PERDIDO POR FUGAS EN RED		GASTO SUBMEDIDO POR MEDIDORES		% TOTAL DE PERDIDAS EN EL SISTEMA
			(L/S)	%	(L/S)	%	(L/S)	%	
Querétaro, Qro.	1,783	14	242	13.5	50.0	2.8	242.7	13.6	29.96
Tapachula, Chis.	776	10	107	13.7	170.0	21.9	30.6	3.9	39.55
Tuxtla Gtz., Chis.	1,162	15	300	25.8	174.3	15.0	110.0	9.5	50.30
Veracruz, Ver.	2,869	17	694	24.2	4.0	0.1	0.0	0.0	24.34
Jalapa, Ver.	1,215	9	418	34.4	108	8.9	0.0	0.0	43.32
Zacatecas, Zac.	485	14	134	27.7	14.8	3.1	0.0	0.0	30.80
Total	21,366		5,507		2,122		400		
Promedios Pesados		15		26		10		2	38

Fuente: Instituto Mexicano de tecnología del Agua, (IMTA)

### 1.3 METODOLOGÍA PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE FUGAS.

#### 1.3.1 DIAGNÓSTICO DE FUGAS

El diagnóstico de fugas, consiste en describir el estado actual que guarda el sistema en estudio, respecto a un sistema que opera en condiciones óptimas de seguridad y servicio, la cual significa contar con información suficiente y confiable para la operación, mantenimiento y evaluación del estado que guardan las pérdidas por fugas en el sistema.

Se establece la tendencia y ocurrencia de las fugas en un sistema de distribución de agua potable, así como las relaciones del tipo de fuga con el tipo de suelo y del material, con la información disponible.

#### 1.3.2 METODOLOGÍA PARA LA PREVENCIÓN Y EL CONTROL DE PÉRDIDAS

En términos generales, la metodología para la prevención y el control de pérdidas de agua en un sistema de abastecimiento consiste en un proceso retroalimentado a través del tiempo. Este comprende las siguientes partes:

- Información inicial

Es la primera etapa que se realiza para implementar un programa de control de perdidas y con ello se define la manera como se aplicará la metodología correspondiente.

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

- Planos detallados y actualizados de la red de distribución, de la localización y estado en que se encuentran las válvulas de seccionamiento, de los hidrantes, de los tanques de regulación existentes, de la ubicación de las líneas de conducción que alimentan a la ciudad, de las presiones en la red, de la topografía del lugar, etc.
- Padrón de usuarios actualizados, en donde se indique el tipo de medidor, el estado en que se encuentra y la fecha en que fue instalado.
- Estadísticas mensuales de consumos totales, por cada usuario, por tipo y por rango de funcionamiento del micromedidor (inferior, normal, superior).
- Estadísticas mensuales de volúmenes de agua entregados a la ciudad, medidos con micromedidores.
- Planos de uso del suelo y división de estratos socioeconómicos.
- Detalles del programa de control de pérdidas que esté realizando en ese momento.

\* 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, patrones de falla y reparación de fugas, a la determinación de sub y sobremedición en medidores domiciliarios y a la cuantificación de volúmenes de pérdidas totales física y comercial.

Primero se calcula el volumen total de fugas en tomas domiciliarias, a partir de los muestreos en campo (inspección y aforo).

De las mediciones de consumos realizadas en sectores aislados de la red, llamados distritos hidrométricos, se estima el volumen de fugas en la red, calculando como la diferencia entre el volumen entregado menos el consumido por los usuarios y menos las fugas en tomas.

Las pérdidas por mala medición, se calculan mediante el error determinado en la verificación en campo, de la muestra de micromedidores.

Finalmente la diferencia entre el volumen entregado a la red y la suma de las pérdidas anteriores, representa una estimación global de las pérdidas por una mala facturación en el sistema.

Es conveniente mencionar que las partes de la evaluación de pérdidas más significativas, que influyen notablemente con los resultados que se obtengan, son la determinación del consumo domestico real de los Distritos Hidrométricos, la verificación estadística de micromedidores y de muestreo de las tomas domiciliarias, por lo que, es necesario tener el mayor cuidado en la realización de ellas.

\* Adquisición, instalación y sustitución de micromedidores

Se establece un programa de adquisición e instalación de micromedidores, que toma en cuenta la selección y el dimensionamiento de dichos aparatos, de acuerdo a los distintos consumidores.

También, se realiza 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 implementa un programa de mantenimiento correctivo para reparación de los mismos.

\* **Detección, localización y reparación de fugas**

Paralelamente a las actividades anteriores, se determina cuál es la mejor técnica para detectar y localizar las fugas y cuál se adapta mejor a las condiciones particulares de cada sistema. Actualmente, se han desarrollado varias técnicas para detectar y localizar fugas, entre las cuales se encuentran el sondeo con geófono o detector electrónico, presión diferencial, trazadores, distritos hidrométricos 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.

### 1.3.3 EVALUACIÓN DE FUGAS EN LA RED

La evaluación de fugas se realiza mediante una metodología probada en el país, que permite estimar, con suficiente aproximación, la cantidad de agua perdida debido a fugas existentes en el sistema de distribución, así como también las variables físicas y de operación asociadas a dichas fugas, con la cual se determinan los efectos y causas del problema.

Esta metodología consiste en calcular la medición de consumos en una muestra de distritos hidrométricos, DH, estimando el volumen de fugas en las tuberías de la red, calculando la diferencia entre el volumen entregado y el consumido por los usuarios y menos las fugas en tomas.

Para llevar a cabo la estimación de fugas en la red, primero se seleccionan los sectores denominados Distritos Hidrométricos, DH (esta técnica se describe en el capítulo 3.3), de acuerdo con el siguiente criterio de muestreo:

- \* Se divide a la población en cuatro niveles socioeconómicos (alto, medio, bajo y comercial); es decir, en cuatro sectores que presentan las características homogéneas respecto al consumo de agua.
- \* Cada uno de los niveles anteriores se subdivide en subzonas homogéneas, respecto a la ocurrencia anual de fugas en líneas principales y secundarias de la red, según los rangos siguientes:

subzona 1	0 a 10 %
subzona 2	11 a 20 %
subzona 3	21 a 30 %
subzona 4	31 a 40 %
subzona 5	41 a 50 %

Los porcentajes se calculan dividiendo la cantidad de fugas ocurridas en la subzona, entre el número total de fugas registradas en un año en el nivel socioeconómico en cuestión. Esto es, un nivel socioeconómico puede quedar subdividido en uno, dos, tres, cuatro o cinco subzonas, dependiendo de la variabilidad en la ocurrencia de fugas que se observe.

Después de seleccionar los DH, se verifica la ubicación y estado de las válvulas limítrofes de cada DH, reportando a los responsables del mantenimiento cuáles deberán ser rehabilitadas.

Posteriormente, se verifica el aislamiento y se comprueba que en la red interna y en la externa al distrito se tengan buenas condiciones de presión para su abastecimiento, con el fin de no afectar el servicio a los usuarios. Asimismo se confirma que la dirección del flujo sea hacia dentro del distrito, en el punto donde se instalará la estación de aforo (EA), para medir el gasto abastecido. Es recomendable que 48 horas antes de realizar la medición de consumo global, se cierre el DH y sea abastecido en forma continua solo por el punto donde se haya instalado la estación de aforo, para asegurar un suministro normal en el sector.

A continuación, se procede a medir el caudal de ingreso al DH durante 24 horas (o medición global de consumos), de preferencia con tubo Pitot Simplex, tomando lecturas instantáneas, directamente del manómetro "U" a intervalos de 15 minutos o bien, con un registrador continuo de gasto.

Paralelamente a las actividades antes mencionadas, se determina el consumo doméstico promedio diario, a partir de lecturas y registro del volumen consumido semanalmente durante un mes por una muestra representativa de usuarios, en cuyos domicilios se instalan micromedidores previamente calibrados.

Asimismo, se realiza un censo para obtener el número de habitantes en todos los domicilios comprendidos dentro del sector en estudio. Es necesario garantizar que la medición global de consumos en cada DH, se lleve a cabo durante el mismo período en el que se realizan las lecturas de consumos con micromedidores.

Con estos datos, el consumo doméstico promedio diario (en litros/habitantes/día),  $C_{pd}$ , se obtiene sumando los volúmenes semanales consumidos durante el mes y dividiendo la suma entre el número total de días, de lectura en el mes y este resultado, entre el número total de habitantes.

Finalmente, se determinan los índices de consumo mínimo nocturno, ICMN, tomando como referencia el consumo horario promedio,  $C_{HP}$ . Este consumo horario promedio es el resultado de dividir el volumen total abastecido, entre el periodo total de tiempo T en el que se realizó la medición. El ICMN se obtiene en porcentaje al dividir el volumen horario mínimo consumido entre las 0:00 y 5:00 horas del día,  $C_{MIN}$ , entre el consumo horario promedio,  $C_{HP}$ .

Estos índices de consumo mínimo nocturno son indicadores de los niveles de pérdidas que existen en los DH. En un área bien abastecida, normalmente los consumos domésticos entre las 0:00 y 5:00 horas, son aproximadamente cero. Sin embargo, cuando esto no ocurre, o sea, cuando los consumos después de las 0:00 horas continúan hasta llegar a un valor mínimo, se puede sospechar que hay una extracción irregular en la red.

El seguimiento del ICMN a través del tiempo puede ayudar a identificar la tendencia al aumento o reducción de las pérdidas de agua por fugas. En la práctica profesional, un valor del ICMN superior al 20 % puede representar un alto grado de fugas. Cuando se excede este porcentaje, es conveniente realizar investigaciones más profundas sobre las causas de dichos niveles de fugas.

### 1.3.4 ESTADÍSTICAS DE FUGA

El proyecto de estadística de la ocurrencia de fugas es parte implícita del proceso de control de fugas y está enfocado a la adquisición, análisis y divulgación de datos producidos durante las reparaciones, evaluaciones y reportes.

A continuación se presenta una breve descripción del tipo de estadística utilizada en México y otros países.

- \* Consumo.- Se elaboran gráficas con datos del patrón de usuarios, del volumen promedio diario y mensual de agua utilizada por los usuarios, considerando períodos mensuales y anuales respectivamente, indicando los porcentajes medio y estimado, por tipo de consumidor y por clase socioeconómica (alta, media baja y comercial).
- \* Frecuencias de ocurrencia de fugas.- Las estadísticas de ocurrencia de fugas, se pueden expresar como una frecuencia de ocurrencia o como porcentaje relativo al total de eventos registrados a través del tiempo y permite examinar las prácticas actuales de registro y tendencias del organismo operador en cuanto al control de fugas, así como para la identificación de los factores que intervienen en la evaluación de fugas en un sistema de distribución. Un resumen de las principales estadísticas de ocurrencia de fugas se puede elaborar de los registros históricos de reparación de la manera siguiente:
  - o Fecha de reparación
  - o Tipo de falla (rotura, rajadura, perforación, etc.)
  - o Diámetro del tubo
  - o Material del tubo
  - o Profundidad del tubo
  - o Tipo de suelo circundante
  - o Fecha de instalación
  - o Ubicación geográfica
- \* Tendencias de fugas.- Con base en los registros históricos de fugas reparadas en la red y tomas domiciliarias, se pueden observar sus tendencias al elaborar y analizar las gráficas siguientes:
  - o Distribución geográfica de fugas, por intervalos de frecuencia.
  - o Índice de fugas por tipo de material de la tubería de la red o tomas domiciliarias, expresado como número de fugas al año, o bien, gasto total de agua perdida al año
  - o Índice de fugas por tipo de elemento donde ocurrió la fuga (p. Ej. En tomas domiciliarias, en tuberías de la red de distribución, en válvulas, etc) expresada en número de fugas (en el elemento) / Km. de tubería (o número total de elementos) / año.
  - o Porcentaje de fugas reportadas mensualmente al Organismo Operador, menos el porcentaje de fugas reparadas

## 2. CONTROL DE USUARIOS

En una ciudad, en promedio se consume el 71% de la producción total de agua en las casas habitación, el 12% en la industria, el 15% en el comercio y el 2% en el sector servicios.

### 2.1. PADRÓN DE USUARIOS

El padrón de usuarios es el conjunto de acciones para disponer de un sistemático y actualizado registro de usuarios, que facilita la facturación de los servicios y el registro de fugas. Sirve como elemento de control y de información en la planeación y comercialización de los servicios de agua potable.

Debe estar actualizado y ordenado de tal manera que permita conocer: ubicación, clase socioeconómica, tipo de usuario, datos y estado del micromedidor instalado y los consumos registrados periódicamente.

La clasificación del tipo de usuarios de acuerdo al servicio proporcionado es:

Doméstico  
Comercial  
Industrial  
Servicio público

Dentro de la clasificación, el tipo doméstico considera a los usuarios de clase baja, media y alta, el tipo comercial incluye a hoteles, restaurantes, cines, centros comerciales y comercios en general, en el tipo industrial se consideran las fabricas en general y con respecto al tipo de servicios públicos, se consideran las garzas que existen para abastecer a pipas, las tomas públicas para servicio de jardines, áreas verdes, hospitales y oficinas de gobierno, así como las tomas especiales que se tienen para los grandes consumidores.

#### 2.1.1 SISTEMA DE INFORMACIÓN A USUARIOS

Es el conjunto de acciones para establecer un sistema integral y automatizado de información, para el seguimiento y evaluación de los procesos y actividades de control de usuarios, debe ser compatible con el volumen de transacciones considerando: el número de contratos, dimensión de la ciudad y grado de procesos del padrón de usuarios, facturación y cobro, así como el suministro de información requerida por:

- \* El sistema de planeación, para la elaboración de planes, programas, estudios tarifarios y presupuesto.
- \* El sistema administrativo, para el control y evaluación del desempeño por áreas, así como para el suministro de materiales.
- \* El sistema financiero, para llevar a cabo una adecuada contabilidad y ejecución presupuestal.

## 2.2 MICROMEDICIÓN

La micromedición es el conjunto de equipos, elementos y actividades destinadas a obtener, analizar y divulgar los datos de los sistemas de distribución de agua potable. Tiene como objeto cuantificar periódicamente el consumo de agua de cada usuario con fines de facturación, de asegurar que los consumos sean racionales y para mantener un equilibrio adecuado entre la producción y la demanda de agua.

Esta acción puede influir en la reducción del consumo de agua domiciliario hasta en un 25% en áreas que no contaban con medición (Grisham y Flemming, 1989). Como se muestra en el siguiente cuadro 2.2-1.

**Cuadro 2.2-1**  
**TÉCNICAS DE USO EFICIENTE DEL AGUA EN EL MEDIO MUNICIPAL.**

TÉCNICA	VENTAJAS	DESVENTAJAS	REDUCCIÓN DEL CONSUMO
Medición	- Fácil de implantar - Mayor potencial de ahorros	- Altos costos de capital - Requiere cambios en la estructura tarifaria	25% en áreas que no tienen medición
Reparación de fugas	- Reduce el agua no contabilizada	- Los costos pueden sobrepasar los del agua ahorrada	9% aproximadamente
Tarifas	- Pueden inducir fuertemente al ahorro	- Objeción de los usuarios - Requiere de estructuras bien diseñadas para ser efectivas	10%
Dispositivos ahorradores	- Baratos - Ahorros rápidos	- Requiere la cooperación del usuario	Al menos 10% del consumo residencial
Reglamentación	- Gran potencial de ahorro - Reduce aguas residuales	- Posible resistencia de constructores	Sobre un 10% del uso residencial
Reuso y jardines eficientes	- Ahorros significativos - Bajo mantenimiento de plantas nativas	- Baja aceptación de usuario - Preferencia de los usuarios por determinadas plantas - Puede no haber disponibilidad de plantas nativas	25% del uso residencial
Educación	- Pueden cambiar malos hábitos - Resultados a largo plazo - Promueve la participación voluntaria	- Requiere un esfuerzo bien planeado y coordinado	5%

Fuente: Grisham y Flemming, 1989

En el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), hizo un estudio para evaluar el impacto de la micromedición en los usuarios. Primero se colocaron medidores ocultos y se midió el consumo en tres sectores socio económicamente diferente, después se colocó el medidor en forma visible a los mismos usuarios y se midió el consumo respectivo.

Algunas de las ventajas de instalar medidores son:

- \* Racionalización del uso de los recursos hidráulicos.
- \* Optimización de los recursos disponibles en el sistema actual, es decir se pueden postergar inversiones o incrementar la cobertura de agua potable.
- \* Posibilidad de ofrecer un servicio continuo, lo cual evita molestias a los usuarios y riesgos a la salud.
- \* Reducción de costos de operación.

- \* Apoyo a las acciones de control de fugas.
- \* Generación de información sobre el comportamiento de la demanda de las diferentes categorías y tipos de consumidores.

La micromedición puede resultar una acción cara desde la etapa de instalación hasta la de mantenimiento, por lo que conviene planear con mucho cuidado la administración de esta actividad.

Antes de instalar los medidores debe realizarse un análisis sobre el tipo y uso del predio y su probable consumo, de manera que se pueda dimensionar razonablemente la capacidad del medidor, pues existen dos riesgos:

1. Que se subdimensionen, es decir que su capacidad sea inferior al consumo real del predio, con lo cual se obtendrán mediciones erróneas y su vida útil será menor por el desgaste acelerado de sus piezas.
2. Que se sobredimensionen, lo cual implica una inversión inicial mayor que la necesaria y registros de flujos mínimos con errores debido a su menor sensibilidad en ese rango.

Una vez dimensionados los medidores, conviene decidir dónde se instalarán, para ello deben considerarse variables técnicas, financieras, económicas y sociales, como las que se enumeran a continuación:

- a) Tamaño de los sectores
- b) Costos de instalación, mantenimiento, lectura y facturación
- c) Equipo de transporte
- d) Calidad del agua
- e) Cantidad del agua
- f) Consumos elevados
- g) Costos de operación
- h) Nivel de medición actual

Aunque lo ideal es medir en el 100% de las tomas domiciliarias, esto no siempre es posible debido al costo de la implantación de un sistema de micromedición.

De acuerdo a estudios hechos en varios organismos operadores de agua potable y alcantarillado (IMTA, 1989), se ha determinado que al 10% de las conexiones con medidores corresponde el 51% del consumo total, esto es considerando a los mayores consumidores; que al rango del 10 al 20% de tomas con medidores corresponde un 14% del volumen medido, mientras que en el rango del 90 al 100% de conexiones sólo se mide un 3%.

Se puede definir entonces una estrategia para instalar micromedidores, existen tres posibilidades:

1. Medición selectiva. Consiste en localizar a los grandes consumidores y empezar la medición con ellos, hasta alcanzar el radio definido para la población.

2. **Medición sectorial.** Ocurre cuando se hace la medición de un predio con varios consumidores, prorrateando el consumo medido entre todos ellos. Para que esta opción sea justa deberá tratarse de que la población tenga hábitos de consumo semejantes, que se conozca la cantidad real de tomas, que se estime el porcentaje de pérdidas en la distribución y que se tomen en cuenta hidrantes y otras derivaciones.
3. **Medición combinada.** Es una mezcla de los dos sistemas propuestos. Se aplica en zonas donde los consumos no son homogéneos. Por ejemplo en una zona abastecida por un sólo tanque se puede poner un macromedidor a la salida del mismo, colocar micromedidores a los grandes consumidores y de la lectura del macromedidor, restar los grandes consumidores, las pérdidas y los volúmenes públicos y el resto prorratearlo entre los que no tienen medidor.

Los medidores de mayor capacidad (7 m<sup>3</sup>/h o superior) deberán tener prioridad en el programa de mantenimiento preventivo y cada organismo operador debe establecer su propio programa de acuerdo a su capacidad de personal de campo y de su taller de medidores, existen programas de cómputo para establecer el periodo adecuado de mantenimiento a estos dispositivos (Planells *et al.*, 1987).

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, (Ochoa, 1991), hizo un estudio del funcionamiento de medidores en una ciudad con 17,420 tomas, de las cuales el 17.8% cuentan con medidor. El tamaño de la muestra se determinó por medio de la teoría de muestreo estratificado simple aleatorio, con un nivel de confianza del 95%. Se encontró que el 43% funcionan en el rango inferior, de la curva de errores del micromedidor, el 55.8% en el rango normal y el 1.2% en el superior, esto indica claramente que es necesario instalar aparatos cuya exactitud sea máxima con gastos inferiores al 5% de su capacidad nominal.

Finalmente se encontró que el 23.4% de los aparatos miden de más, el 71.4% miden de menos y solamente el 5.2% mide bien.

## 2.2.1 EVALUACIÓN DE SUB Y SOBREMEDICIÓN

La sub y sobremedición se refiere a la cantidad de agua que se registra en los micromedidores. La evaluación de la sub y sobremedición se realiza por verificación "in situ" de una muestra de micromedidores seleccionada aleatoriamente.

### 2.2.1.1 VERIFICACIÓN DE MICROMEDIDOR

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

Se debe realizar una prueba de medición de la concentración de aire que tiene la tubería de la toma domiciliaria, con un dispositivo accionado por válvulas de cierre eléctrico instantáneo, mismo que es previamente calibrado en el laboratorio.

La facilidad del acceso al lugar donde se instalan los micromedidores y las condiciones de su mantenimiento, influyen de forma decisiva en la toma de lecturas. La frecuencia recomendable es de una vez al mes, salvo los grandes consumos, que deben leerse cada 10 o 15 días.

En aquellos casos en que por avería del micromedidor o por imposibilidad de acceder al mismo, no puedan deducirse los consumos, éstos deben estimarse en el mayor rigor posible; suele emplearse un término medio ponderado tomando como base los consumos más homogéneos con los del período en cuestión, ya sean anteriores o posteriores, realizados en un determinado período de tiempo, o en el mismo de años anteriores.

### 2.2.1.2 TIPOS DE MEDIDORES

La medición es el conjunto de operaciones que permite conocer el consumo real de un usuario. Y es imprescindible por:

- \* Conocimiento de las posibles pérdidas.
- \* Eliminación de gastos innecesarios. Derroche de agua.
- \* Justa aplicación de las cargas. Quien consume paga.

Con estas consideraciones pueden fijarse como puntos de medición de caudales: en captación, en conducción, en entrada y salida de depósitos, en las redes de distribución y en los puntos de consumo.

Teniendo en cuenta los aspectos funcionales de estos elementos de medición, pueden establecerse una serie de condiciones exigibles a los medidores como son:

- \* Sencillez de funcionamiento.
- \* Durabilidad.
- \* Resistencia mecánica.
- \* Resistencia a la corrosión.
- \* Peso mínimo de los elementos sumergidos.
- \* Fácil montaje y conservación.
- \* Sensibilidad. Medición con caudales pequeños.
- \* Exactitud en la medición.
- \* Mínima pérdida de carga.

Los medidores de agua pueden ser volumétricos o de velocidad.

- \* Medidores volumétricos

Los primeros medidores volumétricos fueron los de émbolo y los de disco, ambos de peso importante y de costo elevado.

Actualmente se emplean los de pistón rotativo excéntrico. En éstos el pistón montado excéntricamente divide la cámara en dos partes: una en comunicación con la entrada y otra con la salida. Cuando el medidor funciona, la entrada de agua empuja al pistón y lo hace girar, así la cámara en comunicación con la salida va disminuyendo de tamaño expulsando al agua, hasta llegar el volumen de esta cámara a cero. Entonces simultáneamente el orificio de entrada se presenta de nuevo ante la pared del pistón, se sigue girando y obligando al llenado de la cámara.

\* Medidores de velocidad

Los medidores de velocidad utilizan como elemento de medición una turbina o hélice, que trabaja en la tubería a presión en donde el flujo del agua corre en una dirección axial a ellas.

La medición se logra con base en la proporcionalidad existente entre el número de revoluciones de la turbina o hélice y la velocidad del agua que corre por la tubería, la velocidad de giro de la turbina o hélice es transmitida a un sistema de relojería o de pulsos eléctricos que la transforman directamente en información equivalente a volúmenes o registros gráficos.

Los otros sistemas normalmente utilizados son los de medición en vertedero o canal, el tipo vortex o bien los basados en medición de la velocidad por propagación de sonido, o de tipo magnético.

No existe un modelo de contador que cubra las condiciones totales. Normalmente se presta atención por un lado a las condiciones de servicio, y por otra a las características de medición.

## 2.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS MICROMEDIDORES

Los micromedidores deben de cumplir mínimo con las siguientes condiciones:

- \* Que utilicen cámaras volumétricas de paredes móviles.
- \* Que aprovechen la acción de la velocidad del agua, sobre la rotación de un órgano móvil, ya sea de turbina, de uno o varios chorros o de hélice.
- \* De esfera húmeda o seca.
- \* Con transmisión del movimiento por un procedimiento mecánico o magnético.
- \* De diámetro comprendido entre 13 y 300 mm.

A continuación se presentan algunos ejemplos de los micromedidores comerciales:

Tabla 2.2.2 - 1  
MICROMEDIDOR MARCA DELAUNET

Tipo	UM	MD					WD		
Calibre mm pulgadas	15 5/8	15 5/8	20 3/4	25 1	40 1 1/2	50 2	80 3	100 4	150 6
Modelo	3UM-15	MD-15	MD-20	MD-25	MD-40	MD-50	WD-80	WD-100	WD-150
Gasto de arranque									
Mínimo L/H	30	42	70	98	280	M3/H 9	15	38	135
Medio L/H	120	150	250	350	1000	M3/H 15	20	65	175
Alto m <sup>3</sup> /H	3	3	5	7	20	M3/H 30	75	120	270

UD - medidor de turbina chorro único esfera en seco

MD - medidor de turbina chorro múltiple esfera en seco

WD - medidor de hélice woltman esfera en seco

**Tabla 2.2.2 - 2**  
**MICROMEDIDOR MARCA AZTECA**

TIPO	TM	
Calibre		
mm	15	20
pulgadas	5/8	3/4
Modelo	TM - 3	TM - 5
Gasto		
Mínimo L/H	40	70
Medio L/H	150	250
Alto m <sup>3</sup> /H	3	5

**Tabla 2.2.2 - 3**  
**MICROMEDIDOR MARCA KENT**  
Transmisión magnética sistema de volumen

TIPO	PSM
Calibre	
mm	15
pulgadas	5/8
Modelo	PSM15 - 114
Gasto de arranque	
Mínimo L/H	3.40
Medio carga de 3m C.A. m <sup>3</sup> /H	1.95
Alto carga de 10m C.A. m <sup>3</sup> /H	3.50

**Tabla 2.2.2 - 4**  
**MICROMEDIDOR MARCA BADGER**

Transmisión magnética esfera en seco de volumen

SISTEMA	PSM		
Calibre			
mm	25	40	50
Pulgadas	1	1 1/2	2
Gasto de arranque			
Mínimo L/H	250	350	500
Medio L/H	750	1050	1500
Alto L/H	3000	4200	6000

**Tabla 2.2.2 - 5**  
**MICROMEDIDOR MARCA TRIDEN**  
Transmisión magnética esfera en seco de volumen

Sistema	PSM			
Calibre				
mm	15	25	40	50
pulgadas	5/8	1	1 1/2	2
Gasto de arranque				
Mínimo L/H	150	250	350	500
Medio L/H	450	750	1050	1500
Alto L/H	1800	3000	4200	6000

## 2.2.3 MEDICIÓN DEL AGUA EN CIUDADES MEXICANAS

En México, algunas de las grandes ciudades han establecido o están en proceso de mejorar sustancialmente sus niveles de medición, sin embargo otros organismos enfrentan el problema con escasez de recursos técnicos, financieros y normativos. Por ello, aprovechando las experiencias obtenidas y la iniciación del Programa Nacional de Agua Potable y Alcantarillado, se establecen apoyos e instrumentos específicos para instalar, operar, mantener y utilizar la información de la medición.

Estos apoyos se traducen específicamente en:

- \* Manuales y recomendaciones para un equipamiento adecuado y para su adquisición e instalación correcta.
- \* Apoyos tecnológicos para evaluar e instalar sólo aparatos de calidad.

En el año de 1988 se abastecían alrededor de 170 m<sup>3</sup>/s de agua a 160 localidades con población mayor de 10 mil habitantes. De este caudal sólo se medía directamente el 43%, faltando por medir cerca de 97 m<sup>3</sup>/s que suministraban agua a 140 localidades. En ese mismo año se estimaron 8.8 millones de tomas domiciliarias instaladas de las cuales únicamente el 49% tenían medidor y en ellas sólo el 40% de los medidores funcionaba. Esta situación nacional de escasez de control y conocimiento de los volúmenes suministrados y utilizados, era reflejo de la poca importancia que se le daba al proceso de medición del agua en un buen número de organismos operadores.

La actual política federal en apoyo a la consolidación de los organismos operadores de los sistemas de agua potable y alcantarillado, está orientada entre otras cosas, a fortalecer su autonomía, capacidad de gestión y asegurar que las empresas sean autosuficientes técnica y financieramente. Para esto, es fundamental la aplicación de tarifas bien diseñadas y un proceso eficaz y eficiente de medición, tanto en fuentes de abastecimiento como en tomas domiciliarias.

Recuperar los rezagos en la medición es tarea de los organismos operadores y para ello la Comisión Nacional del Agua (CNA), autoridad federal encargada de coordinar el programa nacional de agua potable y alcantarillado, emprendió desde 1989 el desarrollo de experiencias e instrumentos para apoyar las tareas de selección, adquisición, instalación de medidores, así como la medición propiamente dicha y verificación de lecturas.

### 2.2.3.1 MEDICIÓN EN FUENTES DE ABASTECIMIENTO

#### \* Equipamiento

Se estima que la mayor parte del volumen suministrado a las Ciudades y no medido se extrae por cerca de 3,000 pozos. En 1989, la CNA instaló 319 medidores en fuentes de abastecimiento de nueve ciudades, pasando la cobertura nacional de medición del 43% al 51% del volumen abastecido a ciudades. Además, se equiparon 5 gerencias regionales de la CNA con equipo de pitometría para apoyar y capacitar en campo a los organismos operadores y así multiplicar las acciones de medición.

La realización de estos trabajos permitió generar dos manuales, por una parte los "Términos de referencia para la selección, adecuación, instalación y calibración de macromedidores en pozos" y, por otra parte, los "Criterios y recomendaciones para la selección, adquisición e instalación de medidores en conductos a presión".

Con el fin de facilitar el proceso de adquisición y selección de medidores se elaboró de manera conjunta con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) el "Catálogo de instrumentos de medición".

• Capacitación y apoyo directo

Para que los organismos operadores establezcan programas de medición permanente y control de la operación en sus sistemas de abastecimiento, se brindó apoyo a 9 organismos operadores en asesoría para la instalación de medidores de caudal del tipo de presión diferencial; aforos y manejo de equipo; revisión e instalación de estaciones de medición; y verificación de medidores. Se realizaron tres cursos de capacitación teórico-prácticos y se elaboró el "Manual para aforo con tubo de pitot", en el que se dan las directrices y procedimientos para ejecutar los trabajos básicos de medición.

• Verificación y desarrollo tecnológico

El seguimiento a la operación de los medidores instalados arrojó como uno de sus resultados, que en el 37% de las ciudades se sobreestimaba el volumen ingresado a la red y en el 63% de las ciudades se subestimaba. Ver Cuadro 2.2.3.1-1.

**Cuadro 2.2.3.1 - 1**  
**MACROMEDICIÓN EN 9 CIUDADES MEXICANAS**

CIUDAD	MEDIDORES			CAUDAL ESTIMADO	
	INSTALADOS	EXISTENTES	VOLUMEN	FLUJO	(LPS)
1	72	-	1700	2210	-23%
2	32	-		2023	
3	15	-	985	966	+2%
4	11	5	852	720	+18%
5	15	16	630	618	+2%
6	27	15	1650	1390	+18%
7	72	-	2500	2616	-4%
8	33	-	1861	1700	+9%
9	18	16	675	735	-8%

Fuente: IMTA

Esta actividad permitió además verificar la precisión de 5 marcas de medidores de propela, encontrándose que el 30% trabajan dentro de los límites aceptables de error; el 60% tienen errores que varían del 5 al 20%; y el 10% restante tienen errores exagerados por distancias inadecuadas en la instalación y presencia de aire. Ver Cuadro 2.2.3.1-2

**Cuadro 2.2.3.1 - 2**  
**REVISIÓN Y RESULTADOS EN MEDIDORES TIPO VELOCIDAD**

CIUDAD	NÚMERO DE MEDIDORES POR REVISIÓN	MARCA	ERROR		INSTALACIÓN		SIN FUNCIONAR
			<5%	>5%	S/E	NO C.	
1	72	A B C	31	69	40	60	Ninguno
2	47	E C	28	72	56	44	Ninguno
3	72	D	en proceso				

Fuente: IMTA

S/E = Según especificación

NO C. = No Cumplen con especificación

Todos los documentos citados se difunden entre los organismos operadores para su revisión y comentarios, de tal forma que después de corregidos y ampliados sirvan de apoyo a sus acciones de macromedición.

### 2.2.3.2 MEDICIÓN DOMICILIARIA

Para elevar la cobertura de micromedición a un 70% en los próximos 4.5 años se requerirán instalar o sustituir alrededor de 1.1 millones de medidores anualmente; ello implica casi duplicar la capacidad total de producción de los fabricantes nacionales o recurrir a importaciones.

Esta situación orientó los trabajos de apoyo de la CNA a tres temas principales: actualización de las normas mexicanas para medidores domiciliarios; elaboración de guías para la compra de medidores y para evaluar en forma rigurosa las propuestas de los proveedores; y por último, impulsar el equipamiento de un laboratorio capacitado para evaluar el cumplimiento de las normas internacionales por los medidores ofrecidos.

Como resultado de reuniones con diversos organismos operadores, a propuesta de la CNA y el IMTA se generaron dos documentos, uno como "Guía para el comprador de medidores domiciliarios", para que defina con precisión sus requerimientos y especifique con claridad lo que le deben ofrecer y cotizar los proveedores, y el otro documento es una "Metodología para evaluar técnica y económicamente las propuestas de medidores domiciliarios". Estos documentos sirven como base para las adquisiciones que en ese sentido se hacen con fondos provenientes del programa nacional.

Para evaluar el comportamiento y las características técnicas de los diversos medidores domiciliarios que se están ofreciendo en el país, se elaboró un convenio con el IMTA y la Universidad Autónoma de San Luis Potosí para aplicar las pruebas señaladas en la norma internacional ISO 4064. Esta acción permite disponer de un laboratorio equipado y entrenado para aplicar pruebas de cumplimiento de las normas, con lo que se cubre un déficit que registraba el país en este sentido, ya que no hay laboratorios acreditados por la autoridad federal para realizar estas pruebas. En una primera etapa se evaluaron 34 medidores nuevos y distintos. Ver Cuadro 2.2.3.2-1.

**Cuadro 2.2.3.2 - 1**  
**RELACIÓN DE MEDIDORES PROBADOS**

NÚMERO	MARCA	PAÍS	DIÁMETRO	
01	YT	Taiwán	13	Quimomex
02	Precimag	Francia	13	Paribas
03	Neptune	Estados Unidos	15	Sist. Advance
04	WMW (BR)	China	15	CNA Hgo.
05	Azteca	México	15	Med. Azteca
06	Kent PSM	Puerto Rico	15	Inelco
07	Delaunet	México	15	CICASA
08	Tulam	México	15	MIMYMSA
09	Schlumberger	Francia	20	Sist. Advance
10	Andrea L.	Alemania	13	Quimomex
11	Delaunet	México	13	CICASA
12	Maipo	Chile	15	Quimomex
13	S/M	Italia	15	Sist. Advance
14	Azteca	México	13	Med. Azteca
15	S/M	Italia	19	Sist. Advance
16	Kent	Puerto Rico	15	Inelco
17	Cori	Italia	15	DGCOH
18	Arad	Israel	19	V. T. Represent
19	Woltex	Francia	50	Paribas
20	Chih Cheng	Taiwán	15	DGCOH
21	Neptune	Estados Unidos	50	Sist. Advance
22	Lecomte	Canadá	15	DGCOH
23	Arad	Israel	15	V. T. Represent
24	Iberconta	España	15	CICASA
25	Iberconta	Méx-Alemania	15	CICASA
26	Petrich	Bulgaria	19	Ing. Gastón L.
27	Rockwell	Estados Unidos	15	Ing. Meléndez
28	Badger	Estados Unidos	15	DGCOH S. U.
29	CicasaAndr	Méx-Alemania	13	Qro. - IMTA
30	Tecnobras	Brasil	15	Gob. Edo. Chis.
31	Ningbo	China	13	Don Bernstein
32	Prema	Checoslovaquia	19	Mavar, S. A.
33	Badger M.	Estados Unidos	15	Inova, S. A.
34	Mexicano	México	15	Raúl Juárez

Fuente: IMTA - Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Los resultados obtenidos, sin validez estadística por el número de medidores probados, se han puesto del conocimiento de fabricantes y proveedores, para incorporarlos al proceso de certificación de calidad de sus productos.

### 2.3 DETERMINACIÓN DE CONSUMOS

Es el conjunto de acciones a desarrollar por el organismo operador, para implantar un sistema de medición para la obtención, procesamiento, análisis y divulgación de datos relativos al consumo de los usuarios del sistema de agua potable.

Al establecer un sistema de medición se logra obtener continuidad y precisión en el volumen de agua entregado a los usuarios, disminuir el agua no contabilizada, incrementar el cobro y generar información útil en el control de fugas.

Los aparatos que se utilizan en la medición de consumos se llaman micromedidores domiciliarios, los cuales son ofrecidos por los fabricantes en diferentes capacidades (de 2 a 3 m<sup>3</sup> de gasto nominal, para usuarios domésticos y hasta 7 m<sup>3</sup> para comercios e industrias).

El proyecto de medición de consumos abarca los siguientes puntos:

- Selección de micromedidores domiciliarios.- es común seleccionar el aparato adecuado en función del consumo mensual estimado del usuario o bien de acuerdo al diámetro de la conexión.
- Instalación física de micromedidores.- se instala en lugares que permitan hacer lecturas fáciles y que se proteja contra agentes externos (clima, accidentes, etc.)
- Mantenimiento preventivo.- se prevé dar un mantenimiento a los aparatos cuando se estima que el error en precisión rebasa los límites establecidos en la Norma Oficial Mexicana (NOM-012-SCSI-1993, Medición de flujo de agua en conductos cerrados de sistemas hidráulicos.- Medidores para agua potable fría, Especificaciones). Se estima en promedio que un micromedidor requiere mantenimiento a los 4 o 5 años, salvo casos en los que la calidad de agua esté deteriorada.
- Determinación de consumos y procesamiento de información.- Los datos se integran a un sistema de cómputo con el fin de analizar, clasificar y evaluar la información.

### 3. PROGRAMA DE DETECCIÓN DE FUGAS

El programa de detección de fugas es el conjunto de acciones, que permiten establecer una estructura adecuada dentro de un organismo operador para apoyar el control de fugas, de forma ordenada y con actividades objetivas.

El programa implica la descripción técnica, clara y concisa del estado de fugas; es decir, de los efectos (positivos o negativos), observados en relación con el control de fugas en el sistema de distribución y de los problemas que son el origen de un alto porcentaje de pérdidas por fugas.

#### 3.1. REGISTRO DE REPORTES

El registro de reportes se llevará a cabo en las direcciones generales de agua potable de cada localidad, para ello se usaran diferentes formatos, como se muestran en el anexo A.

##### 3.1.1. RECEPCIÓN Y VERIFICACIÓN DE LOS REPORTES DE FUGAS

Los reportes, quejas y denuncias que la población emite, son captados en la Dirección General en su Centro de Información mediante la comunicación telefónica del usuario o a través de diversos organismos de orientación, como locatel.

En el Centro de Información se revisa que la fuga no haya sido reportada con anterioridad y que su ubicación sea correcta, usando un sistema de foliación y Guía Roji escala 1:20,000, si la ubicación es errónea, se llama al usuario para ratificarla y elaborar el orden de trabajo correspondiente.

Posteriormente, para definir las características de la tubería, tales como: diámetro y tipo de material, se utilizan microfichas de planos escala 1:10,000 que contienen información de la infraestructura de agua potable.

##### 3.1.2. ENVÍO Y CONTROL DE LOS REPORTES DE FUGAS

Los reportes de redes primarias (conductos mayores o iguales a 50 cm de diámetro), son enviados a los diferentes organismos operadores, en tanto que los de redes secundarias (conductos cuyo diámetro es inferior a 50 cm), se turnan a la administración de obras hidráulicas de cada localidad para su eliminación. Si por alguna razón la administración no cuenta con los recursos humanos y materiales para realizar la reparación, en forma ágil y a la brevedad el reporte es atendido por el organismo operador.

El centro de información distribuye los reportes al área de la administración encargada, la cual una vez que atendió el reporte, emite en forma escrita las acciones que llevaron a cabo y las causas que le dieron origen.

Los reportes se registran en un libro de bitácora, anotando:

- Ubicación de la fuga
- Lugar a donde se reporta
- Diámetro
- Material
- Fecha en que se recibe

En el libro se lleva la relación de las fugas solucionadas y aquellas pendientes de atención para darles el seguimiento correspondiente.

### 3.2. REGISTRO DE TOMAS DOMICILIARIAS

La toma domiciliaria corresponde a la red por medio de la cual el usuario dispone del agua en su propio predio. La elección del tipo de toma por usarse más adecuado quedará a criterio de la Dirección General de Construcción de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado.

En todas las localidades urbanas, en las tomas para servicio doméstico, comercial, industrial y público, se instalará medidor, cuya capacidad será fijada por el Organismo Operador, para servicio doméstico el medidor será de 15 mm de diámetro nominal, con capacidad de 3 m<sup>3</sup>/hora, con conexiones de 13 mm de diámetro; tipo de velocidad de chorro múltiple, con el mecánico de relojería que indica la lectura trabajando en seco; es decir, de esfera seca. La presión de trabajo será no menor de 10.5 Kg/cm<sup>2</sup>. La transmisión podrá ser mecánica o magnética.

En la toma domiciliaria, las fugas pueden ser por rajadura, perforación, corte o piezas flojas. El primero y cuarto tipo de falla se asocia a una mala calidad de materiales empleados o instalación deficiente; el segundo y tercer caso a factores externos.

En el cuadro 3.2-1 se presenta la cobertura del agua potable a través de la variación de la toma domiciliaria.

**Cuadro 3.2 - 1**  
**COBERTURA DE AGUA POTABLE A TRAVÉS DE LA VARIACIÓN DEL NÚMERO DE TOMAS, 1998 Y 1999.**

ESTADO / LOCALIDAD	TOMAS DE AGUA POTABLE 1998				TOMAS DE AGUA POTABLE 1999			
	Doméstica	Comercial	Industrial	Total	Doméstica	Comercial	Industrial	Total
NACIONAL	13.453.292	612.198	60.801	14.126.291	13.911.293	684.789	64.707	14.660.789
AGUASCALIENTES	181.172	5.983	441	187.596	187.477	5.983	441	193.901
BAJA CALIFORNIA	496.361	29.896	3.072	529.329	526.409	32.428	3.315	562.152
BAJA CALIFORNIA SUR	96.995	5.565	642	103.202	100.433	5.904	622	106.959
CAMPECHE	94.262	3.025	309	97.596	98.522	3.227	282	102.031
COAHUILA	469.893	26.683	1.240	497.816	493.027	26.479	1.475	520.981
COLIMA	135.616	7.624	371	143.611	141.405	8.324	372	150.101
CHIAPAS	208.961	15.555	1.741	226.257	212.562	15.709	1.809	230.080
CHIHUAHUA	560.111	26.521	2.838	589.470	581.117	29.410	2.911	613.438
DISTRITO FEDERAL	1.255.961			1.255.961	1.256.245			1.256.245
DURANGO	230.064	9.248	913	240.225	241.606	9.165	1.196	251.967

ESTADO / LOCALIDAD	TOMAS DE AGUA POTABLE 1998				TOMAS DE AGUA POTABLE 1999			
	Doméstica	Comercial	Industrial	Total	Doméstica	Comercial	Industrial	Total
GUANAJUATO	586.492	28.671	4.000	619.163	592.795	30.252	4.045	627.092
GUERRERO	240.706	11.642	1.060	253.408	252.868	11.911	1.103	265.882
HIDALGO	203.644	8.054	528	212.226	212.052	9.402	643	222.097
JALISCO	1.064.166	77.538	3.090	1.144.794	1.111.926	72.024	2.312	1.186.262
MEXICO	2.225.218	69.334	16.201	2.310.753	2.255.046	91.773	20.335	2.367.154
MICHOACAN	473.998	18.385	1.842	494.225	500.586	21.659	1.498	523.743
MORELOS	151.262	10.322	847	162.431	163.830	9.828	822	174.480
NAYARIT	137.641	5.604	333	143.578	141.648	5.735	350	147.733
NUEVO LEON	766.151	44.256	1.489	811.896	785.490	46.291	1.609	833.390
OAXACA	165.363	7.048	964	173.375	173.286	7.185	933	181.404
PUEBLA	383.688	32.665	5.343	421.696	414.105	61.513	4.777	480.395
QUERETARO	239.362	8.899	770	249.031	248.087	9.606	783	258.476
QUINTANA ROO	139.711	6.574	552	146.837	151.559	7.826	616	160.001
SAN LUIS POTOSI	294.212	13.374	1.216	308.802	311.412	13.679	1.000	326.091
SINALOA	518.147	22.219	2.151	542.517	545.667	23.086	2.210	570.963
SONORA	417.351	17.751	1.506	436.608	431.773	19.624	1.607	453.004
TABASCO	132.701	9.156	504	142.361	135.984	9.555	506	146.045
TAMAULIPAS	524.689	32.981	2.499	560.169	539.822	35.146	2.820	577.788
TLAXCALA	77.345	2.799	108	80.252	78.292	3.050	121	81.463
VERACRUZ	543.208	39.101	2.515	584.824	565.300	42.338	2.645	610.283
YUCATAN	277.695	10.761	800	289.256	291.127	11.204	766	303.097
ZACATECAS	161.146	4.964	916	167.026	169.835	5.473	783	176.091

Fuente: INEGI

En el anexo B se muestran los formatos de los registros de las tomas domiciliarias.

### 3.3. TÉCNICAS DE LOCALIZACIÓN DE FUGAS

Dentro del tipo de fugas no visibles se pueden presentar dos categorías principalmente: las detectables y las no detectables. Estas últimas corresponden a fugas muy pequeñas cuya magnitud es desde un goteo hasta 0.025 l/s y pueden descubrirse sólo después de que han transcurrido varios años.

Para los objetivos del presente estudio se han considerado solo las fugas que son detectables. Por lo que existen diferentes técnicas de localización, que se describen a continuación.

#### 3.3.1 TÉCNICAS DE SIMPLE INSPECCIÓN

##### 3.3.1.1 MEDICIÓN EN SECTORES

Esta técnica también llamada de Distrito Hidrométrico, consiste básicamente en aislar sectores de la red donde se realizan mediciones de los volúmenes abastecido y consumido por los usuarios en cada sector, durante un periodo de 24 horas como mínimo, para calcular los índices de consumo que determinan una mayor o menor incidencia de fugas.

Antes de iniciar las actividades de medición en los Distritos Hidrométrico, debe verificarse la operatividad de las válvulas de seccionamiento existentes en estos sectores de la red de distribución. La verificación se realiza para detectar posibles fallas que dificultan la operación de las válvulas como son:

- \* Las cajas de válvulas pueden estar cubiertas por pavimento asfáltico
- \* Las cajas de válvulas pueden estar azolvadas
- \* Falta el volante del vástago de la válvula
- \* El cabezal del vástago puede estar desgastado
- \* El vástago puede estar roto
- \* Puede existir fuga por el asentamiento entre compuerta y cuerpo de la válvula

En cada caso, se deben corregir las fallas utilizando las herramientas adecuadas y utilizando las refacciones que correspondan o reportarse al departamento de mantenimiento para su reparación. Para detectar fugas en las válvulas se puede emplear un acuófono o un hidrófono.

Un Distrito Hidrométrico, DH, es un sector de la red de distribución que puede independizarse desde el punto de vista hidráulico, por medio de maniobras en las válvulas de seccionamiento, con la finalidad de realizar estudios de distribución de consumos y de pérdidas por fugas, mediante la medición global de los consumos en dichos sectores.

Para delimitar el Distrito Hidrométrico es conveniente realizar pruebas, con el fin de verificar que no se presenten bajas presiones en la red. Para esto, se verifica que el DH está totalmente aislado, si después de cerrar las válvulas limitrofes y al cerrar la válvula de entrada al mismo durante algunos minutos, se observa que las presiones en la red del DH bajan a cero, se concluye que no existe fuga en la red. Si por lo contrario esto no ocurre, puede suceder que exista alguna conexión entre la red del DH y la red al general, que no había sido localizada en el plano.

El procedimiento requerido en la aplicación de esta técnica es el siguiente:

- a. Sobre un plano general de la red de distribución se marcan las líneas divisorias de presión y las socioeconómicas.
- b. Se seleccionan sectores de la red que cumplan con los siguientes requisitos:
  - Que abarquen de 2000 conexiones domiciliarias en ciudades con más de 200,000 habitantes (o entre 20 y 50 Km. de red), de 1000 a 2000 conexiones en ciudades con menos de 200,000 habitantes y menos de 1000 conexiones en zonas rurales.
  - Dichos sectores deben estar dentro de los límites de una sola zona de presión (1.5 a 5 Kg/cm<sup>2</sup>), ya que es muy frecuente ocasionar falta de agua por insuficiencia de la presión en una o en ambas partes subdivididas.
  - Los sectores seleccionados deben coincidir en lo posible, con líneas férreas, carreteras, grandes avenidas o ríos. Si esto no fuera posible, se debe poder aislar del resto de la red cerrando las válvulas de seccionamiento existentes y sólo dejando una entrada para el abasto

de agua. En este paso se debe cuidar que dentro del sector y fuera de él se tengan buenas condiciones de presión aún en las horas de mayor consumo.

- El diámetro de la tubería de entrada debe ser compatible con el consumo esperado del DH, previniendo que sea posible medir caudales con tubo pitot, con una precisión aceptable, para lo cual, se recomienda que la velocidad mínima en el conducto sea de aproximadamente 0.40 m/s.
  - Es recomendable que en zonas donde se sospeche que hay alta incidencia de fugas, el sector sea de área reducida para un mejor control, lo cual puede traducirse en zonas con extensiones de red de hasta 1000 m.
- c. En la entrada al DH y si fuese el caso en la salida o salidas, se instalan registradores portátiles del caudal, que midan continuamente durante una semana, cuidando que no haya interrupciones en el abasto, a fin de obtener una curva completa del consumo normal en el DH.
- d. Se instalan medidores de presión puntual en las tuberías adyacentes o la línea limítrofe, dentro y fuera del DH, principalmente en donde se sospeche que el cierre pueda ocasionar bajas presiones y en los puntos más desfavorables del sector. Dichos medidores de presión pueden contribuirse con una manguera flexible y un manómetro, los cuales fácilmente se instalan en las llaves de jardín de las casas próximas a las tuberías donde se va a medir.
- e. Para delimitar el Distrito Hidrométrico es conveniente realizar pruebas, con el fin de verificar que no se presenten bajas presiones en la red interior y/o en la exterior, para esto se requiere:

Cerrar las válvulas limítrofes del Distrito en estudio dejando abierta solo la entrada, durante 24 horas continuas, si se observa que ocurren bajas presiones, es preciso mover la línea limítrofe y se deben revisar las válvulas de seccionamiento próximas para verificar que no haya alguna cerrada indebidamente.

Verificar que el DH esta efectivamente aislado de la red exterior, esto se verifica si después de cerradas las válvulas limítrofes, se observa que las presiones en la red del DH baja a cero. Si esto no ocurre, se debe revisar las válvulas limítrofes para verificar que ninguna tenga fuga, o también puede suceder que exista alguna conexión hidráulica entre la red dentro del DH y la red externa (que no haya sido indicado en el plano).

- f. Utilizando aparatos registradores de caudal, se realiza la medición global del consumo durante un periodo de 24 horas como se indica a continuación:

Es necesario asegurar un suministro continuo de agua al DH, como mínimo 48 horas antes de indicar la medición, ya que si esto no se verifica, se puede esperar un consumo irregular, generalmente mayor al normal, el periodo subsiguiente a la ocurrencia de una interrupción significativa la distribución horaria del consumo.

El medidor de caudal seleccionado, se instala en la o las tuberías de entrada al DH, cuando el abasto de aguas al mismo no tiene ninguna salida, pero, si existen salidas, también deben instalarse medidores en cada tubería de salida del DH.

Al inicio y al final del periodo de medición global deben leerse todos los micromedidores de los grandes consumidores, como son: las industrias, comercios, empresas de servicio al público, fabricas, mercados, hoteles, edificios, lavanderías, restaurantes, hospitales, etc.

Del mismo modo, conviene hacer mediciones de caudal durante periodos cortos, en las horas de consumo mínimo nocturno de 10:00 a 5:00 hrs, durante una semana, tomando lecturas de los micromedidores de estos consumidores.

Durante el periodo de medición global, se recomienda instalar registradores de presión junto a los puntos donde se encuentran los registradores de caudal, con lo cual es posible detectar eventuales interrupciones en el abastecimiento.

Al iniciar la medición, es importante anotar el sentido del flujo del agua observado, la hora y la fecha, la ubicación del o de los aparatos, así como también la hora y la fecha de terminación.

A partir de los datos obtenidos en una medición global (curva de consumos dentro del DH en un día), es posible calcular los consumos e índices siguientes:

Consumo horario promedio

$$CHP = \frac{CT}{24horas} \quad (1)$$

CHP = consumo horario promedio, en m<sup>3</sup>/h  
 CT = consumo total en 24 horas, en m<sup>3</sup>/día. (área bajo la curva de consumo)

Índice de consumo horario máximo

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

ICHM = índice de consumo horario máximo  
 CHM = consumo horario máximo, en m<sup>3</sup>/h. (área máxima bajo la curva de consumo para un intervalo de una hora)  
 CHP = consumo horario promedio, en m<sup>3</sup>/h

Índice de consumos mínimo nocturno

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

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

Consumo específico promedio

$$CEP = \frac{CHP}{3.6 \cdot L} \quad (4)$$

CEP = consumo específico promedio, en l/s/Km.

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

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

### 3.3.1.2 PRESIÓN DIFERENCIAL

La posición de una fuga puede determinarse midiendo la presión de la red a través de la toma domiciliaria o de hidrantes y estableciendo un gráfico de las líneas de gradiente hacia ambos lados de la fuga. Por cuanto las pérdidas de presión deben ser relativamente altas para ser registradas con manómetros bourdon, se hace necesario el utilizar manómetros diferenciales con un líquido adecuado, de tal manera que se puedan medir gradientes del 2/1000 y menores.

En forma similar se puede localizar la inmediación de una fuga midiendo presiones en hidrantes colocados a lo largo de la tubería. En ambos casos debe conocerse el perfil de la línea.

Dada la importancia de lograr una medición confiable de la presión en la toma domiciliaria, para detectar fugas, es necesario considerar lo siguiente:

- \* La presión debe medirse en el punto más cercano a la línea principal de red de distribución, el cual generalmente es en el cuadro donde se instala el medidor domiciliario.
- \* Debe verificarse que no haya flujo a través de la toma hacia dentro del domicilio, lo cual se puede lograr si se desconecta el medidor, para instalar el manómetro.
- \* En el caso que existan presiones menores a 0.5 Kg/cm<sup>2</sup> se recomienda el uso de un manómetro en "U" abierto utilizando mercurio como líquido manométrico. Para presiones mayores se puede utilizar un manómetro Bourdon con una escala adecuada (0 - 4 o 0 - 7 Kg/cm<sup>2</sup>). Si no se sabe el rango de presiones existente, primero se deberá utilizar el de mayor escala.
- \* Las mediciones de presión se realizan en la toma seleccionada y en las adyacentes, o bien, en una adyacente y en una enfrente. Se debe revisar antes que dichas tomas estén conectadas a la misma línea, ya que podrían estar conectadas a dos líneas diferentes en la misma calle. Dichas mediciones deberán hacerse en un período de tiempo no mayor a 30 minutos.
- \* Al medir la presión, se debe verificar que el punto de medición se encuentre a la misma altura en todas las tomas respecto a un plano de referencia, el cual puede ser el nivel de la acera; o bien, hacer el ajuste correspondiente al comparar las presiones medidas, registrando el desnivel entre ellas midiéndolo con un nivel de mano.
- \* El operador que realice las mediciones deberán ser uno sólo en cada cuadrilla, para evitar que existan errores de apreciación en las lecturas y utilizar un solo manómetro, revisando que no exista fuga en sus conexiones.

- \* Si la caída de presión en la toma inspeccionada es de 15% respecto a las adyacentes o mayor, entonces existe probabilidad de fuga.

### 3.3.1.3 TÉCNICA CON TRAZADORES

Los métodos con trazadores consisten en introducir a la tubería una sustancia denominada trazador que sea fácilmente detectable en pequeñas cantidades. Un trazador para ser usado en sistemas de agua potable debe ser soluble en el agua pero que, a la vez, no reaccione con la misma, asimismo, debe ser químicamente inerte, sin olor, sabor y no tóxico. Estos requerimientos restringen el uso de algunos halógenos o trazadores radioactivos, aun cuando estos pueden ser usados para localización de fugas en tuberías de alcantarillado, siempre y cuando se compruebe que no hay riesgo de contaminación.

La cantidad de sustancia del trazador que se introduzca a la tubería comparada con la que se encuentra en la misma después de un intervalo dado, se puede inferir del volumen de fuga en la red.

Los trazadores utilizados son:

#### a. Oxido vitroso:

Este material sintético, cumple con las características expuestas y es un método para su utilización como trazador en la localización de fugas. Este método consiste, en que la tubería debe estar a una presión no menor de 120 mca. Se inyecta el gas, que se puede adquirir comercialmente en cilindros y se deja correr el agua en la tubería hasta que todo el tramo a investigar contenga oxido vitroso. Se cierra la tubería y se presuriza a la presión de prueba. Cuando el agua que contiene oxido vitroso se fuga de la tubería, regresa a la presión atmosférica y se separa de la solución. Se efectúan huecos de sondeo a lo largo del tramo de la tubería y se muestra el aire dentro de los mismos con un equipo de toma de muestras, especialmente diseñado para oxido vitroso, con un analizador de gas infrarrojo.

#### b. Cloro

El gas cloro también puede utilizarse como trazador. Este método consiste, en que la tubería debe estar aislada del resto del sistema y por un extremo se le inyecta agua junto con el trazador, a través de un medidor. Esta inyección se continúa durante un tiempo suficiente para permitir al trazador desplazarse a lo largo de la longitud de la tubería. En el sitio donde este ubica la fuga se producirá una interfase de agua con y sin trazador. El agua se descarga rápidamente a través de un medidor, con muestreo regular del agua, para el trazador. Conociendo el volumen del agua descargada antes de que el trazador sea detectado, es posible determinar la localización aproximada de la fuga.

#### c. Otros métodos

Dentro de este renglón se incluyen los métodos de observación sistemática en busca de fugas tales como: observación de la cantidad de agua que fluye por las alcantarillas, hundimientos de pavimento, zonas de baja presión, quejas concentrados de los usuarios. La observación sistemática y ordenada e investigación de estos indicios, por regla general, da muy buenos resultados.

### 3.3.2 LOCALIZACIÓN DE FUGAS CON EQUIPOS MECÁNICOS Y ELECTRÓNICOS

Aunque muchas fugas se localizan fácilmente mediante una simple inspección visual, también es posible encontrar fugas que han producido canalizaciones y afloran en sitios apartados del elemento donde está la falla; en estos casos y cuando las fugas no son visibles, es necesario recurrir a técnicas específicas de localización que permita ubicar con precisión el sitio donde está el daño y reducir así, el tiempo y costo de reparación.

Dentro de las técnicas de localización se pueden emplear las de detección indicadas en el inciso anterior, aplicadas en longitudes menores a 6.0 m. Las técnicas más comúnmente empleadas se basan en la detección del sonido producido por el escape del agua y son las que a continuación se tratan.

Las técnicas de localización se pueden agrupar en función del tipo de equipo utilizado en:

- \* Localización con equipos mecánicos
- \* Localización con equipos electrónicos

Los equipos mecánicos son instrumentos que captan el sonido y lo transmiten de la misma manera que un estetoscopio médico. Requieren de un operador que tenga la facilidad de identificar sonidos graves y agudos, por lo que su eficacia dependerá de la persona que los utilice. Normalmente se usan en tramos cortos de tubería y en la noche para evitar alteraciones en la detección de la fuga.

Por su parte, los equipos electrónicos son instrumentos que captan el sonido de las fugas mediante un micrófono colocado en el piso o con un hidrófono acoplado a una varilla de sondeo, o mediante un radiotransmisor y un receptor que se instalan sobre las tuberías; estos equipos se clasifican en:

- \* Equipos de detección directa
- \* Equipos de detección indirecta

Los equipos de detección directa son equipos más completos que los mecánicos, sus componentes principales son: micrófono de piso, amplificador de sonido y filtros de frecuencia electrónicos, que permiten mediante el uso de audífonos, detectar la existencia de fugas. Le permite al operador inspeccionar la red de distribución sin mayores inconvenientes en su uso, su manejo es bastante sencillo ya que indican la existencia y la ubicación de la fuga por la intensidad de las vibraciones que estas emiten. Las señales pueden captarse por medio de los audífonos y por un indicador de carátula. La fuga se localiza cuando la señal recibida es la más alta al colocar el micrófono de piso en varios puntos sobre alguna tubería. El inconveniente de estos aparatos es del largo recorrido que se tiene que hacer sobre las líneas de distribución, ya que las inspecciones se hacen a cada metro y medio. Sin embargo, son bastante útiles en la detección y localización de fugas en tomas domiciliarias.

Por otra parte, los equipos de detección indirecta son instrumentos computarizados que facilitan enormemente las tareas de detección de fugas. Su funcionamiento consiste en colocar dos radios transmisores en cruceros contiguos de la red de distribución, poniéndolos en contacto con la tubería por medio de un cable y un sensor que se adhiere magnéticamente a cualquier parte metálica que se encuentre dentro de las cajas de válvulas ubicadas en los cruceros, de esta manera el receptor recibe

las señales que le envían los radios que captan el sonido de las fugas y correlacionan las frecuencias captadas, para mostrar una gráfica con el espectro de frecuencias en el intervalo que corresponde a las fugas, en donde se pueden observar los puntos en donde hay fuga, así como la distancia a la que se encuentran desde el radio transmisor y/o receptor. Para la operación de estos equipos se necesitan tres personas, el operador y dos ayudantes para el control de los radios.

Las ventajas que tienen estos equipos es que dan resultados inmediatos de la fuga, sin necesidad de hacer las detecciones en tramos cortos, las distancias que abarcan van desde 100 m hasta 600 m de longitud sobre la tubería, también depende de la tecnología avanzada del equipo. Algunos equipos deducen la cantidad de agua que se está perdiendo aproximadamente en litros por segundo. Las localizaciones son determinadas por un sistema computarizado y el rendimiento de trabajo es mayor que cualquier otro equipo mecánico o electrónico directo.

En las desventajas se describen las siguientes:

- \* su costo es alto
- \* es incontable el equipo para utilizarlo en ciudades pequeñas, porque la inversión es mayor y menor el tiempo de operación, la compra debe redituarse mayor o igual al beneficio.
- \* se requiere de personal técnico con conocimientos básicos en electrónica.
- \* estos equipos entre más avanzados sea su tecnología más tiempo se lleva el operador para ponerlo en condiciones óptimas de trabajo, el procedimiento de instalación y manejo es más laborioso.
- \* en algunas fallas que sufriera el equipo de un alto grado, se tendría que solicitar el servicio del personal técnico de la empresa para su reparación, estos contratimientos provocan a que se demoren los trabajos programados.

Estos equipos pueden dar resultados benéficos en ciudades grandes como pueden ser: Monterrey, Guadalajara, Distrito Federal, etc., siempre y cuando se tenga una actualización precisa de los planos de cruces de la red, un catastro del buen funcionamiento de válvulas, un catastro general del sistema hidráulico y finalmente una capacitación amplia para el personal que los operará.

En el cuadro 3.3.2-1 siguiente se indican algunas marcas de equipos utilizados en la localización de fugas, de acuerdo con la clasificación antes mencionada.

**Cuadro 3.3.2 - 1**  
**CLASIFICACIÓN DE ALGUNOS EQUIPOS DETECTORES DE FUGAS.**

CLASIFICACIÓN DEL EQUIPO	MECÁNICO	ELECTRÓNICO DIRECTO	ELECTRÓNICO INDIRECTO
Nombre del equipo	Varilla de sondeo Acuáfono Geófono	Aqua - scope Acua - phon Son - 1 - kit Metrotech 200L Metrotech HL 2000 Fisher XLT 20	Microcorr estándar Microcorr supersystem FCS L - 100 FCS C - 2000 Metravib

Al escaparse el agua a presión, genera vibraciones en el punto de escape y produce sonidos en un rango de frecuencia entre 350 y 2000 Hz. (ciclos por segundo). Los sonidos ambientales se encuentran en el intervalo de hasta 350 Hz.

En tuberías metálicas el sonido se transmite mejor que en las no metálicas. Las presiones altas facilitan la localización, puesto que al salir el agua con mayor velocidad, se produce un sonido que se propaga con más intensidad. Una fuga pequeña (orificio o grieta), tiene un sonido agudo de alta frecuencia y una fuga grande (tubería rota o junta defectuosa), un sonido grave de poca intensidad y baja frecuencia.

El uso de equipos mecánicos o electrónicos depende de condiciones como son: material de la tubería, tipo de fuga, presión en la línea y características del relleno y recubrimiento. Para el uso de equipos electrónicos directos, es necesario considerar factores extremos como: líneas eléctricas, bombas y otros dispositivos que generan ruido.

La localización de fugas, en lo posible, debe realizarse en la noche debido a que durante el día, principalmente en las áreas urbanas, los ruidos ambientales interfieren y se mezclan con el de las fugas dificultando la localización. La localización se realiza sondeando a lo largo de las tuberías inspeccionadas, aplicando el siguiente procedimiento:

- Realizar un reconocimiento general de la red de distribución, ubicado en lugar exacto de tuberías y accesorios.
- Determinar las áreas que serán inspeccionadas para excluir las que estén exentas de fugas.
- Verificar el correcto funcionamiento de los equipos.
- Seleccionar los puntos de contacto más convenientes, para ubicar las fugas en longitudes cortas (20.0 a 40.0 m).
- Determinar el espaciamiento óptimo de los sondeos de acuerdo con las limitaciones del equipo empleado.
- Localizar las fugas indicando un área máxima de 1.0 x 1.0 m.

Recientemente la correlación del sonido de fuga se ha utilizado para la localización; con esta técnica, se evalúan señales acústicas del ruido de fuga, en un periodo de tiempo determinado.

El método de correlación permite localizar fugas con base en las propiedades de propagación del sonido a lo largo de las tuberías. El ruido generado por dichas fugas, viaja a través de la tubería en ambas direcciones y entonces, la variación de las señales acústicas es registrada con los receptores del equipo. Posteriormente, por medio de la computadora, se ubica con precisión el lugar de la fuga. Cuando se utiliza éste método, deben de considerarse los siguientes factores:

- Longitud de la tubería
- Material y diámetro de la tubería

- \* Tiempo máximo de registro
- \* Velocidad de propagación

El resultado de la correlación y la velocidad de propagación, son considerablemente afectadas por el medio en que se transmite el ruido de fuga. En principio, la absorción del ruido de fuga depende del material de la tubería y la frecuencia del sonido, solamente rangos de frecuencia relativamente del sonido pueden ser evaluados sobre largas distancias, debido a la absorción del sonido.

Deben tenerse especial cuidado en los siguientes casos:

- \* En tuberías de asbesto-cemento
- \* Tuberías de reciente instalación, puestas en operación
- \* Tuberías con diferentes clase de material
- \* Secciones de tubería cerradas
- \* Tuberías de acero de pared delgada
- \* Tuberías susceptibles a la corrosión
- \* Zonas con servicio tandeado
- \* Considerar una longitud máxima de 300 m.

La eficiencia de los equipos, tanto mecánicos como electrónicos directos e indirectos, dependen de los siguientes factores:

- \* *Tipo de carpeta*

El objetivo de conocer el tipo de carpeta es con el fin de poder utilizar los equipos mecánicos y electrónicos directos en las diferentes condiciones que presenta una carpeta, como puede ser: pavimentada, asfaltada, de terracería o con hierba y pasto. Esta referencia se hace únicamente para los equipos clasificados en mecánicos y directos.

A continuación se describirán cada una de ellas, para tener precaución tanto para el equipo como en las operaciones de trabajo que se harán para realizar con precisión las localizaciones de fugas en la red.

- **Carpeta pavimentada:** Este tipo de carpeta, es una de las principales que brinda mejores condiciones para la localización de fuga, la superficie es lisa y compacta, el micrófono de piso asienta totalmente sobre la superficie de la fuga con mayor exactitud.

- **Carpeta asfaltada:** Esta superficie no es tan confiable como las ventajas de la carpeta pavimentada, porque el acomodamiento de las partículas del asfalto tienen a dejar huecos, es decir quedan partes porosas, donde llegan a formarse pequeñas bolsas de aire, además no es un material macizo, sufren deformaciones por temperatura de calor o frío, estas desventajas hacen, que las detecciones sean más complicadas, porque pueden haber confusión de sonidos diferentes al de la fuga.

- **Carpeta de terracería:** Esta superficie presenta varias desventajas, como por ejemplo: el micrófono de piso no queda bien asentado por las pequeñas piedras en la superficie, es irregular el nivel de terreno en épocas de lluvia la superficie esta húmeda o lodosa y además por los desniveles del terreno existen charcos de agua, hay que tener el mayor cuidado en colocar el micrófono de piso en este tipo de carpeta, su membrana receptora de sonidos, es tan frágil, que con un pequeño golpe puede romperse.

- **Carpeta con hierba o pasto:** Es una superficie demasiado crítica, además de tener las desventajas de una carpeta tipo terracería, el terreno presenta diferentes tamaños de hierba y pasto, esta situación también no deja asentar bien el micrófono de piso y es más arriesgado para el equipo detector trabajar en estas circunstancias, porque puede haber piedras de un diámetro de 2 y 3 pulg, cubiertas por la hierba y sin dar cuenta puede uno colocarlo encima de ellas y ocasionar el daño de la membrana receptora del equipo.

Se recomienda cortar la hierba o el pasto, despejar bien el área de trabajo, en cada uno de los puntos localizados para hacer las detecciones y evitar percances en el equipo que causarían contratiempos en las demás actividades programadas.

\* *Tipo de Terreno*

Dependiendo del tipo de suelo del lugar donde se presenta una fuga se tiene diferente calidad de la resonancia del ruido que genera la misma, en este caso únicamente se describirá de lo que es un terreno duro y un terreno fangoso.

- En un terreno duro, en una arena compacta y en un terreno rocoso, se transmite mejor el sonido. Es debido a que existe un mínimo porcentaje de orificios pequeños y esto hace que el sonido no se altere, el detector lo asimila directamente, además no existen bolsas de aire necesarias para averiar el sonido de la fuga. En un terreno recoso es difícil enterrar una tubería por lo costoso que es abrir una zanja, pero si se diera el caso, no existiría ningún problema para las detecciones, sería una mejor ventaja, porque la roca es un material sólido con una dureza que ayuda a transmitir la resonancia.

- En un terreno fangoso, de migajón, como el barro o donde existe material tipo boleó, no tienen buena resonancia. En el caso de migajón, el terreno es agrietado por la temperatura, es expansivo, en estas condiciones el aire penetra por todas las partes agrietadas y al momento de hacer las detecciones con el micrófono de piso, se mezcla el ruido del aire que está enterrado con el sonido de la fuga y esto crea inseguridad del operador para poder distinguir el sonido real de la fuga.

En un terreno con material tipo boleó, existe un mayor porcentaje de bolsas de aire o respiraderos, estas se generan por el mal acomodamiento de las rocas internas, ya que entre ellas existen grandes huecos que en algunos casos llegan a tener salida a la superficie o al nivel freático, es un terreno donde pueden localizarse grandes resumideros, el terreno no es totalmente compacto porque la tierra es fina y suelta, las desventajas son severas para poder hacer una buena detección de fugas en este tipo de terreno.

- *Tipo de material de la tubería*

Las tuberías metálicas tienen mayor transmisión del sonido, por lo que cualquier efecto o golpe que se realice en el interior o exterior de la tubería, tiende a hacer siempre agudo y esto es de gran ayuda para el detector de piso.

En las tuberías de PVC y Asbesto Cemento el sonido es completamente apagado. Es debido a que las tuberías están construidas con materiales que no ayudan a transmitir el sonido agudo como son: el plástico, el cemento, fibra de vidrio, arena, etc., son malos conductores del sonido, por tal motivo, las detecciones de fugas en este tipo de tubería se hacen en distancias más cortas.

- *Presión en la tubería*

Las presiones altas en la red favorecen al detector, puesto que al salir el agua con más presión, golpea al orificio y se propaga una mayor intensidad del sonido. Es deseable contar con una presión mínima de 1 Kg/cm<sup>2</sup>.

- *Tipo de fugas*

Una fuga pequeña (grieta u orificio) presenta un sonido agudo de alta frecuencia y un tubo roto provoca un sonido grave de poca intensidad y baja frecuencia. En el primer caso es debido a que el agua sale con fuerte presión, esto origina a que se propague un sonido agudo, con ayuda del tipo de tubería o por la fuerza del agua que golpea en la pared de la zanja. En el segundo caso, como la ruptura abarca todo el diámetro de la tubería, el agua sale a tubo lleno, en esta situación no existen restricciones necesarias para que aumente la presión del agua, en estas circunstancias trata de salir inmediatamente a la superficie.

- *Ruidos subterráneos de accesorios y piezas especiales*

La fuga se localiza generalmente en un lugar de sonido intenso, donde algunas situaciones hacen cambiar esta afirmación por ejemplo: los cambios de dirección del tubo o tubería doblada, esto puede confundirse con una fuga.

- *Profundidad de la Tubería*

Otra restricción son los cambios de la profundidad, es decir, el espesor de la capa de terreno que cubre el tubo también hace variar la intensidad del sonido, por lo que se recomienda tener los planos actualizados de toda la red, reportes, etc., para conocer estas restricciones y no incurrir en errores al precisar el sitio de la fuga.

### 3.3.2.1 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DE DETECCIÓN DE FUGAS

A continuación se presentan algunos equipos localizadores de fugas, que son utilizados por los organismos operadores:

#### 3.3.2.1.1 Localizadores de Tuberías y Válvulas

- METROTECH MOD-220 (ver figura 3.3.2.1.1 - 1)

Clasificación del equipo: electrónico de detección directa

Aplicación: localizador de cajas de válvulas

Características principales:

- Presión para la localización de cajas de válvulas y otros dispositivos metálicos que estén enterrados en el suelo, pavimento o en paredes, como pueden ser: brocales de alcantarillas y tuberías de energía eléctrica.
- El localizador es efectivo hasta profundidades de 1.5 mts.

Figura 3.3.2.1.1 - 1  
EQUIPO LOCALIZADOR DE CAJAS DE VÁLVULAS  
METROTECH MOD. 220



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- METROTECH MOD-880 (ver figura 3.3.2.1.1 - 2)

Clasificación del equipo: electrónico de detección directa

Aplicación: localizador de tuberías

Características principales:

- Tiene buena sensibilidad a la profundidad
- Localiza: cajas de válvulas, brocales de alcantarillas y líneas de conducción de agua potable metálicas.
- Funciona con baterías de 9 volts.

**Figura 3.3.2.1.1 - 2**  
**EQUIPO LOCALIZADOR DE TUBERÍAS**  
**METROTECH MOD. 880**



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## 3.3.2.1.2 Equipos Detectores Mecánicos

## • GEOFONO MECÁNICO (ver figura 3.3.2.1.2 - 1)

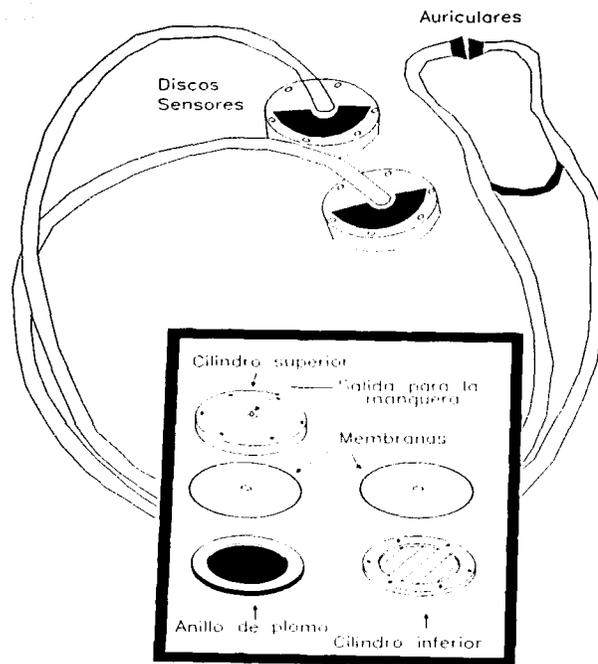
Clasificación del equipo: Mecánico

Aplicación: Detector de fugas

Características principales:

- No se emplea cuando hay vientos fuertes, las mangueras del geofono capta el ruido del viento que pasa a su alrededor.
- No tiene filtro para el control de ruidos del medio ambiente.
- Las detecciones se hacen a cada 5 mts, en tuberías metálicas y en no metálicas se hacen a cada 2 mts.

**Figura 3.3.2.1.2 - 1**  
**GEOFONOS PARA LOCALIZAR FUGAS**



### 3.3.2.1.3 Equipos Detectores Electrónicos de Detección Directa

#### \* FISHER MOD-XLT 20 (ver figura 3.3.2.1.3 - 1)

Clasificación del equipo: electrónico de detección directa

Aplicación: detector de fugas

Características principales:

- Alta precisión en la detección de fugas de agua.
- Amplificación del sonido de las fugas detectadas en tuberías de P.V.C. y Asbesto Cemento, en todo tipo de suelo (arena, arcilla, grava, etc.) y en cualquier tipo de carpeta (pavimento, asfalto, terracería, etc.).
- Cuenta con un filtro que reduce los sonidos del medio ambiente como: viento, tráfico, etc. Las fugas localizadas se pueden leer en el medidor o por medio de los audífonos.
- Permite trabajar durante el día y por la noche.
- Detecta fugas de válvulas, acoplamientos, cajas de medición, etc.
- El equipo viene acompañado de un cassette para orientar al operado sobre el sonido de las diferentes fugas que ocurren.

#### \* AQUA-SCOPE (ver figura 3.3.2.1.3 - 2)

Clasificación del equipo: electrónico de detección directa

Aplicación: detector de fugas

Características principales:

- Acústico y de sensibilidad alta.
- Tiene controles para evitar los ruidos molestos al oído.
- Amplificador de alta fidelidad.
- Capta sonidos de hidrantes, válvulas, etc.
- Localiza con facilidad las fugas en tuberías metálicas e indica su importancia.
- Abarca grandes distancias en chequeo de rutina.
- En tuberías de P.V.C. o Asbesto Cemento el sonido que presenta en la fuga es difícil de detectarlo, se tienen que hacer las detecciones a cada metro y colocar el micrófono de piso lo más cerca posible sobre la tubería.

**Figura 3.3.2.1.3 - 1**  
**EQUIPO DETECTOR FISHER MOD. XLT - 20**

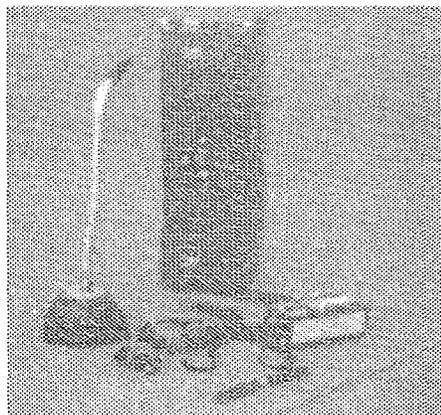
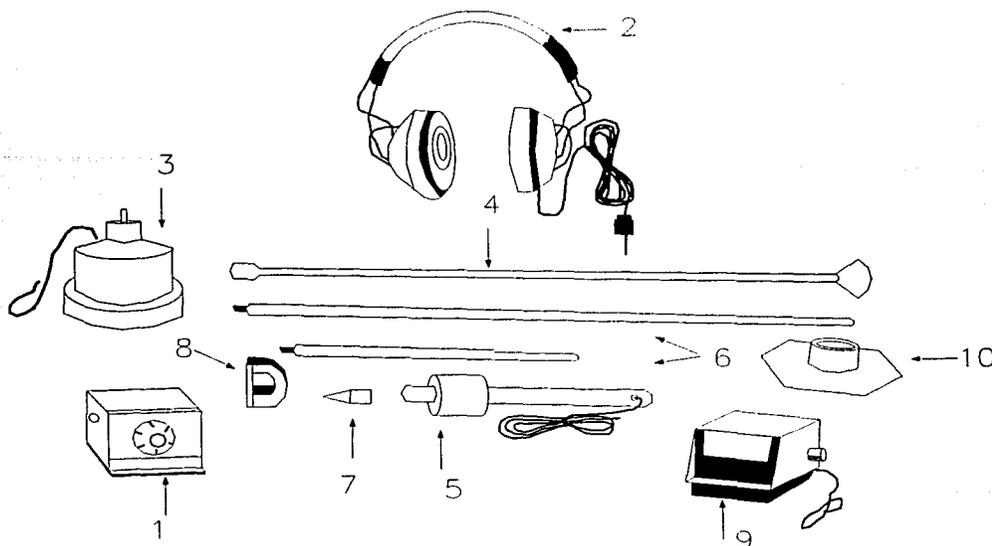


Figura 3.3.2.1.3 - 2  
EQUIPO DETECTOR DE FUGAS AQUA - SCOPE



- |  |                                   |                              |
|--|-----------------------------------|------------------------------|
| 1. Módulo electrónico del Aqua - Scope                   | 2. Audífono                       | 3. Micrófono de piso         |
| 4. Varilla del micrófono de piso                         | 5. Micrófono de contacto          | 6. Extensiones               |
| 7. Extremo desmontable del micrófono de contacto directo | 8. Magneto opcional del micrófono | 10. Plato resonante opcional |
| de contacto directo                                      | 9. Medidor Visual con cargador    |                              |

\* METROTECH MOD-200L (ver figura 3.3.2.1.3 - 3)

Clasificación del equipo: electrónico de detección directa

Aplicación: detector de fugas

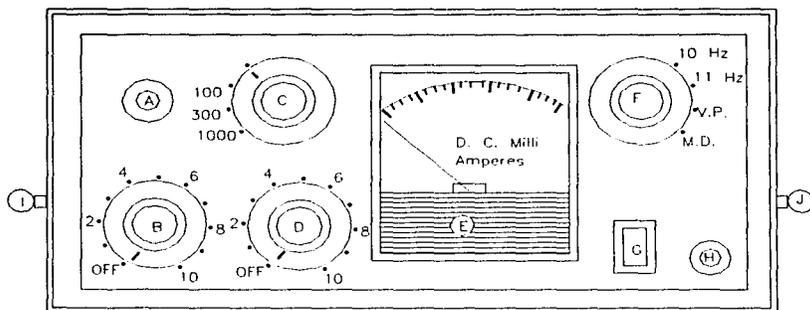
Características principales:

- Instrumento de buena precisión en la localización de fugas.
- Detecta fugas en líneas a presión como pueden ser: Aceites, agua y líquido en general.
- Su traductor capta los ruidos causados por las fugas en las tuberías bajo presión, los convierte en impulsos electrónicos que son enviados al ciclo de amplificación, después de ser filtrados, pueden ser observados por medio de señales audibles a través de audífonos.
- El circuito de filtración es altamente eficiente y permite en la mayoría de los casos eliminar los ruidos extraños al de una fuga.

- Las lecturas que se registran son altamente precisas
- Su operación es incómoda para realizar trabajos de rutina
- Se recomienda colocar en el traductor cuando las condiciones de ruido son muy adversas un cono o un sombrero para eliminar los ruidos debidos al viento.
- Este equipo es más preciso para tuberías metálicas que de asbesto cemento o PVC. En el segundo caso se tienen que hacer las detecciones a distancias de 0.80 a 1.00 m.

**Figura 3.3.2.1.3 - 3**  
**EQUIPO DETECTOR DE FUGAS METROTECH MOD. 200L**

CONSOLA CON SISTEMA DE FILTRADO



- |  |  |
|--|--|
| A.- Botón de Contacto para el Micrófono detector.            | F.- Control de Operaciones   |
| B.- Control e Interruptor de Volumen.                        | G.- Indicador de Nivel de Baterías                                     |
| 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 Micrófono Detector.               |

\* AQUA-PHON (ver figura 3.3.2.1.3 - 4)

Clasificación del equipo: electrónico de detección directa

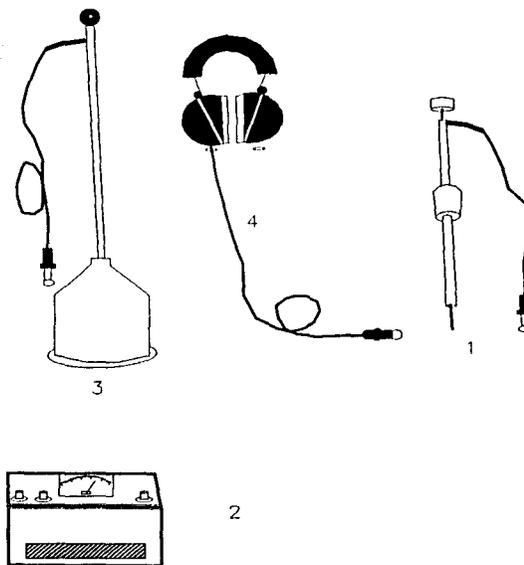
Aplicación: detector de fugas

Características principales:

- La varilla de exploración capta los sonidos en partes accesibles de las tuberías o en válvulas. Está equipada con un micrófono de sonido cuya sensibilidad máxima es de 500 a 1500 hz, tiene controles para evitar los desagradables ruidos. La varilla tiene una longitud de 90 cms.

- Tiene un Geofono de localización, que sirve para captar sonidos en superficie del terreno, percibe los ruidos de fugas transmitidos en el suelo, está equipado con un micrófono de sonido cuya sensibilidad máxima se encuentra de 20 a 300 hz. El micrófono va dentro de una carcasa, quedando protegido ampliamente contra ruidos exteriores, de tal forma que recibe el sonido transmitido por el suelo y no a través del aire. Contiene también una semiesfera metálica para evitar ruidos desagradables en el lugar.
- Tiene un receptor E-3 que detecta tanto las fugas como la localización de la tubería, si es necesario se puede equipar con una segunda placa conductora de mayor exactitud en la localización de tuberías.
- Puede emplearse este equipo en los siguientes tipos de tubería: metálicas, PVC, asbesto cemento, etc.

Figura 3.3.2.1.3 - 4  
EQUIPO DETECTOR DE FUGAS AQUA PHON



1. Varilla del micrófono de piso  
Aqua - Phon

2. Micrófono de piso 3. Módulo electrónico del  
4. Audífono

## \* METROTECH MOD-HL2000

Clasificación del equipo: electrónico de detección directa

Aplicación: localizador de fugas

Características principales:

- Tiene capacidad de memoria para almacenar y medir hasta 8 sonidos de fugas intensas
- Despliegue visual de los 8 sonidos de fugas separadas con intensidades de frecuencia y muestreo del principal sonido de frecuencia e intensidad de la fuga.
- Tiene un switch de selección de frecuencia que permite la selección de una sola frecuencia para su amplificación e indicación
- Cuenta con un eliminador de sonidos extraños al de la fuga.
- El micrófono de piso es el que recibe las señales de alta o de baja frecuencia y son almacenadas en el equipo localizador.
- El micrófono de piso no debe desviarse a más de 0.40 y 0.60 m hacia los lados de la línea de conducción o ramal sí es más de estos rangos la localización de la fuga será un fracaso
- Detecta también fugas en los hidrantes, válvulas, uniones, restricciones, etc.

3.3.2.1.4 *Equipos Detectores Electrónicos de Detección Indirecta*

## \* ANALIZADOR HYDROTRONIC (ver figura 3.3.2.1.4 - 1 y 3.3.2.1.4 - 2)

Clasificación del equipo: electrónico de detección indirecta

Aplicación: localizador de fugas

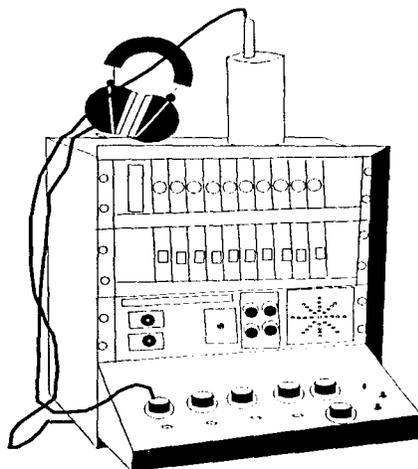
Características principales:

- Tiene un sensor electrónico que convierte los impulsos acústicos en señales electrónicas, las amplifica y las transmite a la consola electrónica.
- Mediante un cable se conecta el sensor electrónico a la consola electrónica, cuya finalidad es transmitir señal eléctrica del sensor a la consola. Estas señales pueden ser transmitidas a través de cables de hasta 1500 m.
- La consola electrónica se compone de las siguientes partes:
  - Lámpara de frecuencia.- tiene 10 lámparas que muestran los rangos de frecuencia de fugas, las fugas grandes necesitan ser analizadas con rangos de baja frecuencia y los sonidos de fugas pequeñas son analizadas en rangos de alta frecuencia.
  - Filtros de exclusión.- Son diez filtros de exclusión, están conectados a los circuitos de las diez lámparas siendo operados por conmutador para acomodar la aceptación o exclusión de cualquier combinación de frecuencias.
  - Osciloscopio.- Revela las diversas formas y patrones de ondas recibidas e identifica la forma predominante de la frecuencia de onda producida por el ruido de la fuga, así como

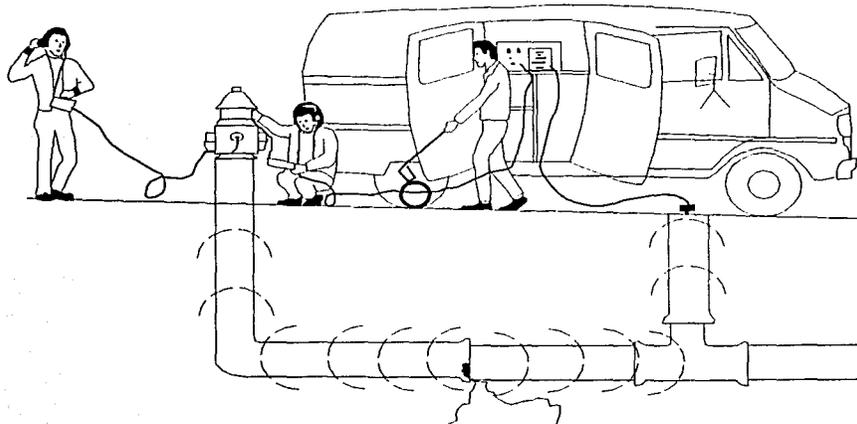
las ondas que provienen del medio ambiente como son las corrientes eléctricas de las instalaciones de alta tensión, transformadores, etc.

- Medidores de intensidad de frecuencia.- Tiene dos medidores electrónicos analógicos, que demuestran la intensidad de la frecuencia de la fuga y envían el valor de esa intensidad al microprocesador.
  - Audio.- Los circuitos de audio responden a través de un altoparlante y audífonos para confirmar el sonido típico de la fuga, así como otros sonidos provenientes de la red de distribución, como los producidos por la alta velocidad del agua, puntos de estrangulamiento, etc.
  - Lámparas de señal de entrada.- Son cuatro lámparas que demuestran automáticamente si la señal de entrada en la consola están en el nivel correcto, es muy fuerte o muy débil.
  - Microprocesador.- Almacena los datos provenientes de los medidores de intensidad de la frecuencia, así como la longitud de la tubería entre las posiciones del sensor, habiendo sido programado para indicar la posición de la fuga.
  - Panel de la consola.- El panel de control está provisto de comando que permiten operar las funciones de forma filtrada o no, incluyendo los controles para conectar y desconectar.
- Se puede detectar deficiencias en la tubería, altas velocidades, medidores obstruidos y válvulas defectuosas.
  - Todos los componentes electrónicos operan con una fuente de energía de 12 volts.
  - El trabajo puede realizarse durante horarios normales de trabajo o nocturnos si es necesario.
  - Según el fabricante se pueden detectar fugas hasta de 0.025 l/s.
  - El equipo estima la pérdida de agua por fuga con errores de +/- 20 %.
  - La presión mínima necesaria que se requiere según el fabricante de 14.4 m.c.a.

**Figura 3.3.2.1.4 - 1**  
**LOCALIZADOR DE FUGAS HYDROTRONIC**



**Figura 3.3.2.1.4 - 2**  
**EQUIPO LOCALIZADOR DE FUGAS HYDROTRONIC**



\* FCS MOD-L100 Y FCS MOD-C2000 (ver figura 3.3.2.1.4 - 3)

**Clasificación del equipo:** electrónico de detección indirecta

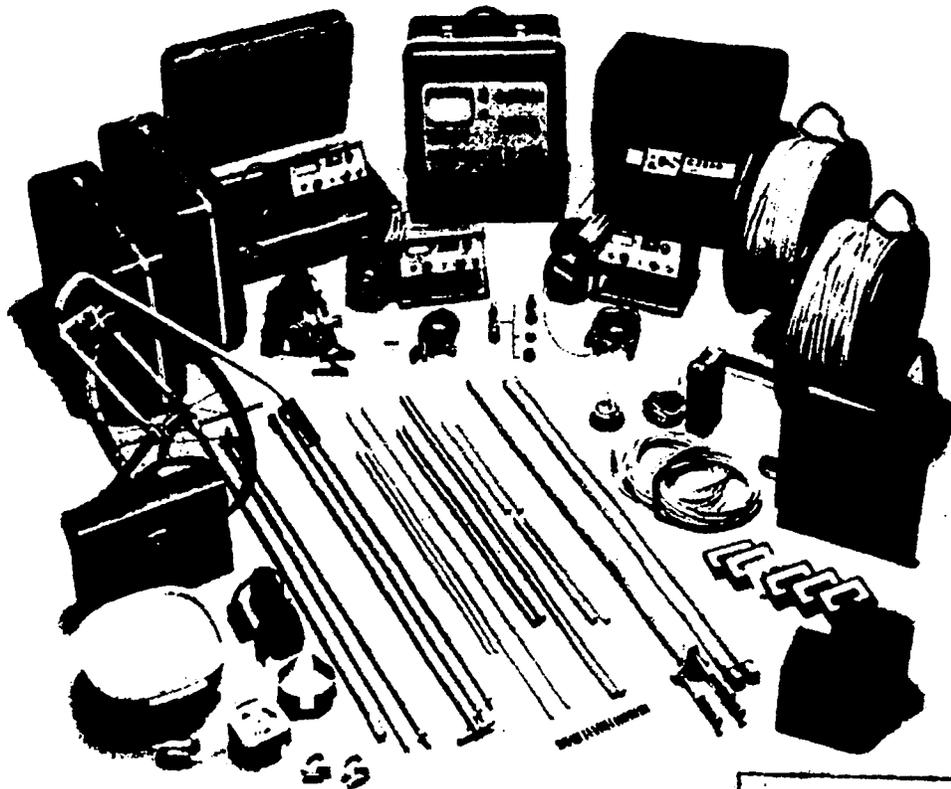
**Aplicación:** detector y localizador de fugas

**Características principales:**

- El equipo L100 es altamente sensitivo para escuchar, es un aparato que habilita la exploración de detección de fugas a lo largo de la tubería.
- Este equipo incluye una consola con amplificador, un traductor, sistema armado de traducción y audífonos, los traductores son especiales para la evaluación de fugas
- El FCS-2000 localizador de fugas, normalmente es usado después de adecuar al sonido identificado con el detector de fugas L100.
- El software del FCS-C2000 está diseñado para permitir agilización en el trabajo.
- Los cálculos matemáticos son ejecutados por un microprocesador.
- Despliega los resultados a pies o metros.
- Puede detectar el sonido de cualquier tipo de fluido.
- El sistema manda un mensaje automáticamente cuando hay señal de problemas del operador.
- Automáticamente presenta un diagnóstico de problemas de mantenimiento.

- Puede operarse desde un vehículo con 12 volts.
- Calcula automáticamente varios tipos de tubería y diámetros.
- Opera en temperaturas de -20 a 50 grados centígrados

Figura 3.3.2.1.4 - 3  
LOCALIZADOR DE FUGAS FCS MOD. L100 Y C200



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Por otro lado, se recomienda realizar visitas a algunos de los Organismos Operadores de los Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado, que cuentan con una estructura organizada y avanzada en el control de fugas.

A continuación se presentan algunos ejemplos.

\* Cd. de León, Gto.

En la Cd. De León, Gto., tiene equipos electrónicos de detección directa como son: el Son-I-ki, el Fisher XLT 20 y un equipo electrónico de detección indirecta el FCS MOD C200 - L100 localizador y detector de fugas.

De la experiencia que han tenido en el uso de equipos detectores de fuga, recomiendan como un buen equipo de detección directa el Fisher XLT 20, ya que les ha dado resultados precisos y es más sencillo y rápido de utilizar. Cuando existen dudas en algún tramo, se afirman con el equipo de detección indirecta el FCS, ya que es más confiable en la localización de la fuga.

\* Cd. de Monterrey, N.L.

En la Cd. de Monterrey, N.L., el Organismo Operador cuenta con cuatro equipos detectores de fugas que son: equipos mecánicos, los Geofonos mecánicos y electrónicos directos como son el Son-I-ki, Aqua-Scope y el Fisher LT-10<sup>a</sup>.

El equipo que más se utilizan para la detección de fugas es el Geofono mecánico, principalmente en ramales para toma domiciliaria, industrial, pública, pero rara es la ocasión que llegan a utilizarse en líneas de conducción. Los consideran como una herramienta adecuada para las tomas.

En el equipo mecánico han encontrado varias desventajas, una de ellas, lo más importante, es la localización de la fuga, puesto que excavan en el punto indicado por el equipo y no encuentran la fuga, incluso hay casos en que llegan a excavar todo el tramo del ramal y no existe fuga, lo cual resulta una inseguridad del trabajo que se está ejecutando y una gran pérdida de tiempo.

Finalmente el equipo que recomiendan para la detección de fugas es el Son-I-ki de detección directa. Asimismo aseguran que los equipos electrónicos indirectos no son recomendables por su alto costo y difícil manejo del equipo, debido a que requiere de personal técnico capacitado ya que tardan más tiempo en estar haciendo las instalaciones necesarias para su funcionamiento que para dar los resultados del tramo en estudio.

\* Cd. de Querétaro, Qro.

El Organismo de Querétaro, Qro., cuentan con dos equipos electrónicos de detección directa: el Son-I-ki y el Metrotech ML2000, el segundo equipo, es el más confiable para sus trabajos de detección de fugas.

La Cd. de Querétaro es una zona de suelo arcilloso y por lo tanto, el equipo Metrotech ha sido óptimo para resolver sus problemas de detección de fugas no - visibles.

- \* Cd. de México, DGCOH

El Organismo de la DGCOH, del D.F., para la detección de fugas no – visibles cuentan con un equipo electrónico con el equipo electrónico indirecto Micro-Corr. Realizan las pruebas en tramos de 120 mts y el tiempo que emplean para las detecciones es de 45 minutos, cuando existen fugas, en caso contrario 15 minutos.

Este Organismo cuenta con un total de 62 equipos de detección de fugas, que son: 4 Micro-Corr, 28 Metrotech MOD-200L, 26 Aqua-Scope, 2 Geofonos Mecánicos y 2 Pipe-Horn.

### 3.3.3 TÉCNICAS DE REPARACIÓN DE FUGAS

La reparación de fugas puede llevarse a cabo de dos formas: mediante rehabilitación del elemento dañado observando las especificaciones de instalación y materiales o mediante la sustitución del tramo dañado. La decisión de reemplazar (rehabilitación) o reparar las tuberías o componentes del sistema, se basan en considerar factores como: presiones en la red, tipo de terreno, vida útil de la tubería, tipo y calidad del material. Los registros históricos de fugas también se emplean en esta decisión.

#### 3.3.3.1 ELEMENTOS DE DECISIÓN PARA EL REEMPLAZO O REHABILITACIÓN DE TUBERÍAS

El criterio para reemplazo o rehabilitación debe considerar lo siguiente:

- \* Estadísticas de daños
- \* Estudio de corrosión
- \* Experiencia en la reparación de daños
- \* Funcionamiento hidráulico de la red

Un reemplazo es justificado cuando se tienen niveles elevados de:

- \* Frecuencia de daños
- \* Corrosión externa en las tuberías, tomas y piezas especiales
- \* Costos elevados de reparación de daños
- \* Daños severos en red principal

Las condiciones para optar por el reemplazo de tuberías de la red son:

- \* Altas pérdidas de agua
- \* Reducción del área hidráulica
- \* Grandes pérdidas de presión
- \* Alto nivel de daños en las tuberías y costos excesivos de mantenimiento
- \* Mala calidad del agua, con alto grado de incrustaciones

Una reparación es justificada cuando existe:

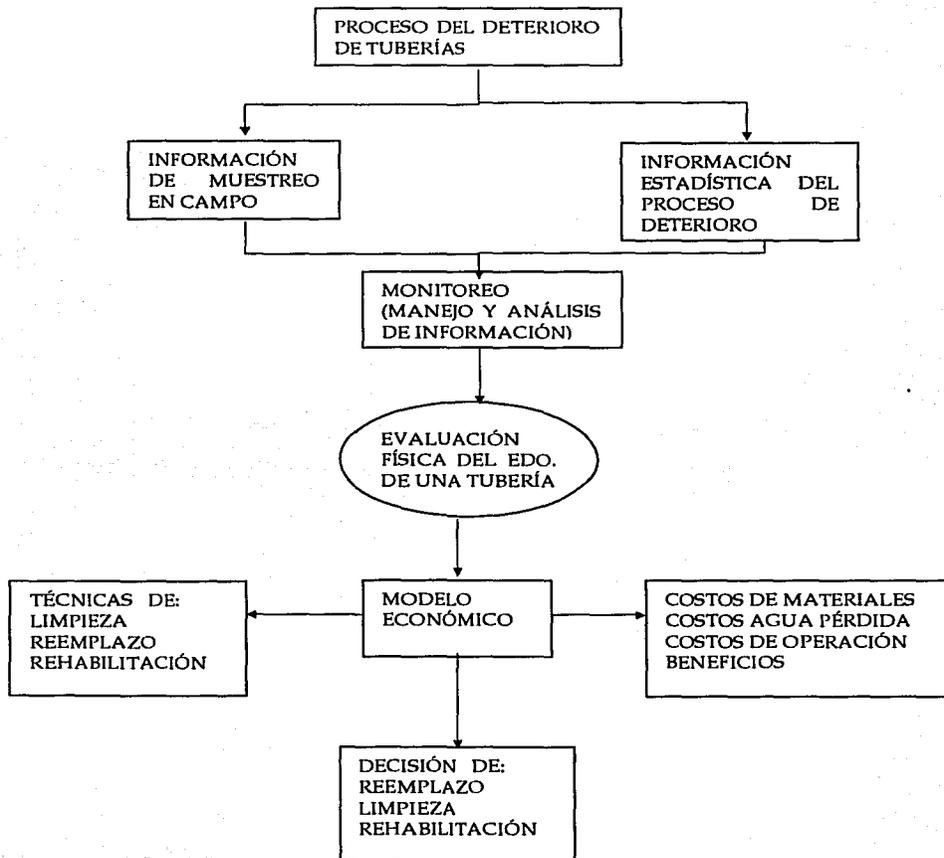
- \* Baja de presión, no significativa en la línea
- \* Daños locales pequeños en la red principal y en tomas domiciliarias
- \* Baja frecuencia de daños

Las fallas más comunes que se representan en la red son:

- \* Agrietamiento transversal, debido a vibraciones por cargas superficiales
- \* Aplastamiento, por mala instalación
- \* Agrietamiento longitudinal, debido a fatiga, defectos de fabricación o golpe de ariete

En la figura 3.3.3.1-1 se presenta un esquema que contiene la secuencia para la toma de decisiones en relación con el reemplazo o la reparación de tuberías.

**Figura 3.3.3.2 - 1**  
**ESQUEMA DEL PROCESO PARA DECISIÓN DE REEMPLAZO O REHABILITACIÓN DE TUBERÍA**



## 4. ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

### 4.1 CATASTRO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

El catastro de la red tiene por objeto tener un conocimiento ordenado y oportuno del estado físico que guarda la red de distribución.

El catastro se conforma con una serie de planos y fichas técnicas, que sirven para ubicar de manera gráfica los elementos de la red, así como para referir sus características físicas como son: el tipo de material, diámetro, profundidad, estado de deterioro y aquellos que ayudan a identificar plenamente cada elemento de la red (válvulas, hidrantes, tramos de tubería, cruceros, equipos de bombeo, y dispositivos para controlar la presión).

Se ha desarrollado la digitalización de planos en sistemas de microcomputadora, que pueden almacenar una gran cantidad de información gráfica y permite actualizar, consultar y emitir reportes eficientemente y con bastante rapidez.

La recopilación de datos en campo se puede hacer destapando cajas de válvulas, utilizando los reportes de reparación de fugas y búsqueda sistemática de tramos de tuberías. Al respecto, se recomienda la adquisición de equipos detectores de objetos metálicos enterrados y localizadores de tuberías.

La formulación del proyecto de catastro de redes se estructura de la manera siguiente:

- a. Actividades previas. Se requiere un levantamiento planimétrico de la urbanización de la ciudad.
- b. Recopilación y análisis de información. Se necesita identificar los planos existentes, sus escalas gráficas, su cobertura respecto al total de la red, el grado de actualización y tipo de datos que contiene.
- c. Evaluación actual. Se dictaminan las áreas que faltan por catastrar, los datos de cruceros, válvulas y tuberías que aún no han sido incluidos; el nivel de contabilidad y actualización; los procedimientos y personal destinado.
- d. Elaboración del proyecto. Primero, se seleccionan las normas de ejecución del catastro (clasificación, simbología, escalas), los procedimientos de actualización y la información que contendrá el catastro (planos por sectores, fichas de cruceros, registros por tramos); después, se enumeran los equipos localizadores, el paquete para digitalización y el equipo de cómputo que se utilizará; enseguida, se selecciona o contrata, al personal que se responsabilizará y que se recomienda sea asignado el área de operación; finalmente, se definen espacios y se equipan las cuadrillas para realizar la tarea correspondiente.
- e. Ejecución. Hay que capacitar al personal en el uso del paquete de cómputo para digitalización, adquirir los equipos localizadores de tuberías y válvulas.
- f. Evaluación y control. Se calculan los indicadores siguientes y se evalúan periódicamente:

$$- \text{ Porcentaje de cobertura del catastro} = \frac{\text{superficie en planos}}{\text{superficie total urbana}}$$

$$- \text{ Porcentaje de actualización} = \frac{\text{número de planos corregidos}}{\text{número de planos totales}}$$

$$- \text{ Porcentaje de confiabilidad} = \frac{\text{número de planos corregidos}}{\text{número de registros}}$$

#### 4.1.1 CATASTRO DE INSTALACIONES

Es el conjunto de actividades destinadas a proporcionar un conocimiento ordenado y oportuno del estado que guardan las fuentes de abastecimiento, líneas de conducción y sus accesorios, equipos de bombeo, instalaciones electromecánicas, plantas potabilizadoras y tanques de regularización.

Los principales elementos por catastrar son los siguientes:

- a. Fuentes de abastecimiento y captaciones. tipo de fuente (lago, presa, pozo, río, galería, etc.), caudales máximos, mínimo y medio y extracción.
- b. Conducciones. Tipo de material (acero, concreto, asbesto-cemento, PVC, etc.), diámetro, longitud, caudal, edad y dispositivo de protección (torre de oscilación, tanque unidireccional, otros).
- c. Plantas de bombeo. Potencia, carga manométrica, caudal, edad y eficiencia.
- d. Subestaciones eléctricas. Cantidad, capacidad y tensión.
- e. Plantas potabilizadoras. Tipo de tratamiento (cloración, convencional, filtración lenta, filtración rápida, etc.), capacidad instalada, edad y eficiencia.
- f. Tanques de regularización. Tipo de tanque (elevado, superficial, subterráneo), material (mampostería, concreto, acero), capacidad, edad y elevación manométrica.

La elaboración del proyecto del catastro de instalaciones se asigna al área de operación, no tiene requisitos para iniciarlo y se debe hacer un sistema de información computarizado para manejo y actualización de todos los datos.

## 4.2 ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

El propósito del análisis hidráulico de un sistema de distribución es estimar gastos (incluyendo su dirección) y la distribución de la presión asociada que se desarrolla dentro del sistema. Se dispone de varios métodos para este análisis entre los cuales se tienen los siguientes:

- a. Relajación
- b. Tubería equivalente
- c. Seccionamiento
- d. Digital
- e. Análisis en computadora digital
- f. Analogía eléctrica

Las características de cada uno de estos métodos se resumen en la tabla 4.2 -1 siguiente.

**Tabla 4.2 - 1**  
**MÉTODOS DE ANÁLISIS DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE**

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
De relajación	Es un procedimiento de ensayo - error en el que se aplican correcciones sistemáticas a: - Un conjunto de gastos iniciales asumidos - Un conjunto inicial de cargas asumidas, hasta que la red esté balanceada hidráulicamente.
De secciones	La malla del sistema de distribución se corta en una serie de secciones y la capacidad de las tuberías se compara con la demanda aguas abajo del corte.
De la tubería equivalente	Las tuberías en una red de distribución se reemplazaran con una tubería sencilla de capacidad equivalente.
Del círculo	Las tuberías de un sistema de distribución tributarias a un hidrante central o grupo de hidrantes, se cortan con un círculo y se evalúa la capacidad de las tuberías para cubrir la demanda.
De análisis con computadora	Se escriben algoritmos para resolver las ecuaciones básicas para el análisis de una red de tubos. Los algoritmos se resuelven usando una computadora. También se dispone de programas comerciales para resolver estos problemas.
Analogía eléctrica	El sistema de distribución es modelado con componentes eléctricamente equivalentes. Por ejemplo, resistencias no lineales se usan para simular la fricción en tuberías. Si la corriente entrante y saliente son proporcionales al flujo de agua entonces las pérdidas de carga serán proporcionales a la caída de voltaje.

La mayor parte de las redes de distribución se analizan en la actualidad usando programas de computadora. Al diseñar un programa que resuelva problemas de redes de flujo, se deben satisfacerse las siguientes ecuaciones simultáneamente a través de la red:

En cada nudo o cruceo:

$$\sum Q_{entrada} = \sum Q_{salida}$$

Para cada circuito complejo:

$$\sum H = 0$$

Para cada tubería:

$$H = KQ^n$$

En los programas de computadora para redes más complejos, las ecuaciones anteriores se resuelven simultáneamente usando una o varias técnicas de inversión de matrices.

Una de las ventajas del uso de las computadoras es que se pueden desarrollar más soluciones a menor tiempo y a un bajo costo.

A continuación se ejemplificará el análisis de una red de distribución de agua potable tipo, que forma parte de un estudio en el cual participé. El estudio consistió en identificar el funcionamiento de la red de distribución de agua potable actual, para ello primeramente se identificó la infraestructura existente, realizando un catastro de la ciudad en estudio y se estableció un programa de detección de tomas domiciliarias identificando la población por colonia y las tomas clandestinas.

#### 4.2.1 CATASTRO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

La infraestructura del servicio de agua se compone de 3 fuentes de alimentación que son dos baterías de pozos y dos plantas de potabilizadoras. Con una capacidad de alimentación máxima de 155.45 lps por las dos baterías y hasta 175 lps en un módulo de la planta. La demanda actual de agua en el mes de máxima demanda fue de 282.48 lps.

La regularización dentro de la mancha urbana registra 12 tanques distribuidos de la siguiente manera:

8 Tanques en operación:

Tanque 1	500	m <sup>3</sup>
Tanque 2	1,000	m <sup>3</sup>
Tanque 3	1,000	m <sup>3</sup>
Tanque 4	800	m <sup>3</sup>
Tanque 5	2,000	m <sup>3</sup>
Tanque 6	1,000	m <sup>3</sup>
Tanque 7	1,000	m <sup>3</sup>
Tanque 8	200	m <sup>3</sup>

1 Tanque próximo a entrar en operación:

Tanque 9	500	m <sup>3</sup>
----------	-----	----------------

3 Tanques fuera de servicio:

Tanque 10	340	m <sup>3</sup>
Tanque 11	500	m <sup>3</sup>
Tanque 12	500	m <sup>3</sup>

Con una capacidad total de 9,340 m<sup>3</sup>.

## 2 Plantas potabilizadoras

Pta. Pot. I	1,000	m <sup>3</sup>
Pta. Pot. II	5,000	m <sup>3</sup>

La red de distribución da servicio a toda la población, con capacidad suficiente para las condiciones actuales, entregando agua con carga suficiente en la mayor parte de la ciudad, encontrándose zonas con baja carga en horas pico, utilizando válvulas reductoras de presión para evitar la sobrecarga en algunas partes de la ciudad, pero encontrándose altas presiones en varias zonas de la ciudad, las cuales deberán ser ajustadas.

La red de distribución tiene un funcionamiento complejo debido a la interconexión que existe entre las tuberías de la red con las líneas de alimentación de pozos a tanques de regularización y debido también a la topografía irregular de la localidad.

Las fuentes mencionadas conforman el abasto de agua potable a la ciudad, siendo las dos baterías de pozos las fuentes más económicas. Las líneas de conducción de la ciudad entre las fuentes y los tanques de regulación son tuberías con holgura para las condiciones actuales, disponiéndose de varias alternativas para interconectar las fuentes con las zonas de demanda. La mayoría de las líneas de alimentación son exclusivas para esta finalidad, conduciendo el agua de fuentes a tanques en la mayor parte del gasto, con excepciones de usuarios localizados junto a las líneas de alimentación por condiciones particulares, siendo este caso muy reducido.

A medida de que los pozos reducen su producción se hace necesaria la entrada en operación de la planta potabilizadora, la cual tiene conexión a gravedad con todos los tanques principales que están en operación, con lo que se cubre el déficit de demanda de agua.

### 4.2.2 DATOS GENERALES

#### \* Población

La población total para la etapa actual en la mancha urbana es de 62,176 habitantes, población que registra tasas de crecimiento del 4.34 % anual, lo que implica que el 20 años duplicará su población, haciendo necesario la ampliación de la planta potabilizadora y en mediano plazo optar por nuevas fuentes de abastecimiento.

#### \* Datos Hidráulicos

##### Gasto medio.

El gasto medio para el conjunto habitacional, se determinó con la expresión:

$$Q_{\text{med}} = D \times \text{Pob} / 86,400 \quad (4.1)$$

donde:

$Q_{\text{med}}$  Gasto medio diario, en l.p.s.

D Dotación, en l/hab/día.

Pob Población, en habitantes.

**Gasto máximo diario**

$$Q_{\text{máx día}} = Q_{\text{med}} \times \text{CVD} \quad (4.2)$$

donde:

$Q_{\text{máx día}}$  Gasto máximo diario, en l.p.s.  
 $Q_{\text{med}}$  Gasto medio diario, en l.p.s.  
 CVD Coeficiente de variación diaria.

El gasto máximo diario, se obtiene con la ecuación 4.2, multiplicando el gasto medio por el coeficiente de variación diaria, utilizando el valor de 1.20 (es dato de cada estado), del Libro V, 1ª Sección, Tema 1, Datos Básicos, del Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, de la C.N.A., variando su valor entre 1.20 y 1.50.

**Gasto máximo horario.**

$$Q_{\text{máx hor.}} = Q_{\text{máx día}} \times \text{CVH} \quad (4.3)$$

donde:

$Q_{\text{máx hor.}}$  Gasto máximo horario, en l.p.s.  
 $Q_{\text{máx día}}$  Gasto máximo diario, en l.p.s.  
 CVH Coeficiente de variación horaria.

Este coeficiente de variación horaria con valor de 1.5 (dato de cada estado, recomendado en los "Datos Básicos" del Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, de la C.N.A. ya que su valor varía entre 1.50 y 2.00, calculando este gasto con la ecuación 4.3.

A continuación se muestra una revisión del consumo y dotación de agua potable siguiendo la normatividad establecida.

**NORMATIVIDAD CNA  
DE MANUAL DE DATOS BÁSICOS DE CNA**

Datos de la ciudad en estudio:

Temperatura media anual		18.13 °C
Clima		Semicalido
Verano	Verano Calido	23.66 °C
Invierno	Invierno Templado	13.71 °C

**Tabla 4.2.2 - 1  
CONSUMO MEDIO SEGÚN TIPO DE POBLACIÓN**

	CONSUMO (l/H/d)	POBLACIÓN (%)	CONSUMO MEDIO (l/H/d)
Residencial	300	7.30	21.90
Medio	205	31.30	64.17
Popular	130	61.40	79.82

**Tabla 4.2.2 - 2**  
**DATOS BÁSICOS DE LA LOCALIDAD**

Consumo Promedio Total		198.40 l/H/d
Perdidas en red (26.23 %)		70.54 l/H/d
Dotación media		268.94 l/H/d
Población Urbana actual		62,176 Hab
Densidad de población		4.06 Hab/Viv
Viviendas totales		15,314 Viv
Consumo total al 96 %	11,842.20 m <sup>3</sup> /dia	137.06 lps
Dotación total al 96 %	16,052.86 m <sup>3</sup> /dia	185.80 lps
Consumo medio mensual al 96 %	360,200.18 m <sup>3</sup> /mes	
Consumo medio mensual al 100 %	375,208.52 m <sup>3</sup> /mes	

**Gastos de diseño:**

Gasto medio

$$Q_{med} = \frac{62176 \times 270}{86400}$$

$$Q_{med} = 194.30 \text{ l/s}$$

Gasto máximo diario

$$Q_{max \text{ dia}} = 194.30 \times 1.2$$

$$Q_{max \text{ dia}} = 233.16 \text{ l/s}$$

Gasto máximo horario

$$Q_{max \text{ hor}} = 233.16 \times 1.5$$

$$Q_{max \text{ hor}} = 349.74 \text{ l/s}$$

### 4.2.3 ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

El análisis hidráulico de la red de distribución se realizó con el programa AH recomendado por las normas de la CNA, aplicando la expresión de Darcy para evaluar las pérdidas por efecto de rugosidad, determinando los gastos en los diferentes nudos en base a la densidad de población actual. Para la revisión de las condiciones actuales no se estableció límite de carga a fin de identificar las cargas dinámicas y estadísticas a que está expuesta la red actual. Para efectos de revisión y diseño de los diferentes sectores de la red actual se utilizaron los consumos del mes máximo consumo, afectados por una fuga del 26.23% para determinar la dotación asociada al gasto máximo diario y se aplicó el coeficiente máximo horario establecido en la normatividad de CNA por dar resultados más conservadores.

Con esta información y con la red existente se procedió a realizar un funcionamiento en condiciones actuales analizando la red en dos zonas, la zona norte y la zona sur para un mejor funcionamiento, dando por resultado el servicio de la población con varias zonas que registran altas cargas disponibles, por encima de las recomendadas para la red de distribución (50 mca). Lo anterior pone en evidencia la necesidad de sectorizar la red de la ciudad en aquellas zonas donde se presentan las condiciones de carga excedida.

Los resultados del análisis hidráulico de la red de distribución de agua potable, se presenta en las tablas 4.2.3-1 y 4.2.3-2

**Tabla 4.2.3 - 1**  
**ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA RED DE AGUA POTABLE**  
**RESULTADO DE LOS TRAMOS**

TRAMO	NODOS		LONGITUD (m)	s de Darcy	DIAM. (mm)	GASTO (L/s)	VELOC. (m/s)	PERDIDAS (m)
	Inicial	Final						
1	PPC	1	142.00	0.0015	159.60	63.47	3.17	6.13
2	1	2	70.00	0.0015	159.60	35.07	1.75	1.02
2'	2	3	6.00	0.0015	159.60	34.14	1.71	0.08
3	3	4	109.00	0.0015	159.60	11.49	0.57	0.21
4	4	5	99.00	0.0015	108.20	0.12	0.01	0.00
5	4	6	259.00	0.0015	159.60	11.25	0.56	0.47
6	6	7	253.00	0.0015	108.20	6.95	0.76	1.27
7	7	8	101.00	0.0015	108.20	4.26	0.46	0.21
8	9	8	115.00	0.0015	108.20	3.86	0.42	0.20
9	7	9	551.00	0.0015	108.20	2.40	0.26	0.41
10	8	10	131.00	0.0015	108.20	0.15	0.02	0.00
11	9	11	56.00	0.0015	108.20	5.62	0.61	0.19
12	11	12	77.00	0.0015	108.20	0.09	0.01	0.00
13	11	13	103.00	0.0015	108.20	5.47	0.60	0.33
14	13	14	273.00	0.0015	108.20	4.91	0.53	0.73
15	14	15	53.00	0.0015	108.20	2.49	0.27	0.04
16	15	16	86.00	0.0015	108.20	1.67	0.18	0.03
17	16	17	26.00	0.0015	108.20	1.08	0.12	0.00
18	17	20	87.00	0.0015	108.20	0.76	0.08	0.01
19	20	21	87.00	0.0015	108.20	1.09	0.12	0.02
20	14	22	105.00	0.0015	108.20	2.10	0.23	0.06
21	22	23	167.00	0.0015	108.20	0.88	0.10	0.02
22	17	23	106.00	0.0015	108.20	0.30	0.03	0.00
23	20	23	182.00	0.0015	108.20	0.43	0.05	0.01
24	22	24	83.00	0.0015	108.20	1.10	0.12	0.02
25	24	25	230.00	0.0015	108.20	0.52	0.06	0.01
26	24	25'	139.00	0.0015	108.20	0.48	0.05	0.01
27	23	25'	59.00	0.0015	108.20	0.17	0.02	0.00
28	25	25'	84.00	0.0015	108.20	0.61	0.07	0.01
29	25	34	155.00	0.0015	108.20	0.86	0.09	0.02

TRAMO	NODOS		LONGITUD (m)	s de Darcy	DIAM. (mm)	GASTO (L/s)	VELOC. (m/s)	PERDIDAS (m)
	Inicial	Final						
30	16	18	339.00	0.0015	108.20	0.49	0.05	0.01
31	15	18	500.00	0.0015	108.20	0.76	0.08	0.05
32	18	19	476.00	0.0015	108.20	0.45	0.05	0.02
33	21	26	51.00	0.0015	159.60	1.02	0.05	0.00
34	30	27	48.00	0.0015	207.90	0.72	0.02	0.00
35	27	28	325.00	0.0015	108.20	0.69	0.08	0.03
36	26	29	73.00	0.0015	159.60	0.55	0.03	0.00
37	26	30	410.00	0.0015	159.60	0.39	0.02	0.00
38	32	30	77.00	0.0015	207.90	1.47	0.04	0.00
39	29	31	83.00	0.0015	159.60	0.34	0.02	0.00
40	29	32	378.00	0.0015	108.20	0.04	0.00	0.00
41	31	33	62.00	0.0015	159.60	0.30	0.01	0.00
42	34	33	5.00	0.0015	159.60	0.68	0.03	0.00
43	31	35	334.00	0.0015	108.20	0.17	0.02	0.00
44	32	35	81.00	0.0015	207.90	2.19	0.06	0.00
45	37	35	144.00	0.0015	207.90	3.54	0.10	0.01
46	34	36	406.00	0.0015	108.20	0.86	0.09	0.05
47	38	35	204.00	0.0015	207.90	5.55	0.16	0.03
48	37	38	111.00	0.0015	207.90	4.32	0.13	0.01
49	38	39	200.00	0.0015	159.60	0.98	0.05	0.00
50	39	40	270.00	0.0015	108.20	0.57	0.06	0.02
51	119	120	497.00	0.0015	159.60	8.34	0.42	0.53
52	120	121	283.00	0.0015	159.60	0.60	0.03	0.00
53	123	122	398.00	0.0015	108.20	0.84	0.09	0.05
54	120	123	67.00	0.0015	108.20	6.09	0.66	0.26
55	123	124	284.00	0.0015	108.20	0.60	0.07	0.02
56	128	126	269.00	0.0015	108.20	0.56	0.06	0.02
57	128	127	54.00	0.0015	159.60	0.44	0.02	0.00
58	129	128	31.00	0.0015	159.60	0.73	0.04	0.00
59	131	129	66.00	0.0015	159.60	1.62	0.08	0.00
60	129	130	345.00	0.0015	108.20	0.73	0.08	0.03
61	133	131	81.00	0.0015	159.60	2.08	0.10	0.01
62	131	132	298.00	0.0015	108.20	0.30	0.03	0.01
63	123	133	77.00	0.0015	108.20	4.51	0.49	0.18
64	133	134	6.00	0.0015	159.60	2.38	0.12	0.00
65	134	135	247.00	0.0015	108.20	0.51	0.06	0.01
66	132	135	72.00	0.0015	159.60	0.32	0.02	0.00
67	134	136	76.00	0.0015	159.60	1.75	0.09	0.00
68	136	137	198.00	0.0015	108.20	0.42	0.05	0.01
69	136	138	203.00	0.0015	159.60	1.18	0.06	0.01
70	135	138	73.00	0.0015	159.60	0.37	0.02	0.00
71	138	139	116.00	0.0015	159.60	0.28	0.01	0.00
72	1	156	805.00	0.0015	159.60	28.38	1.42	7.94
73	156	157	16.00	0.0015	159.60	0.35	0.02	0.00
74	156	158	662.00	0.0015	159.60	26.49	1.32	5.76
75	158	159	890.00	0.0015	159.60	9.23	0.46	1.14
76	159	160	57.00	0.0015	108.20	7.18	0.78	0.30
77	160	161	58.00	0.0015	108.20	3.92	0.43	0.10
78	161	162	135.00	0.0015	108.20	0.82	0.09	0.01
79	161	163	62.00	0.0015	108.20	1.53	0.17	0.02
80	162	163	121.00	0.0015	108.20	0.51	0.06	0.01
81	160	164	102.00	0.0015	108.20	3.13	0.34	0.12
82	161	165	109.00	0.0015	108.20	1.43	0.16	0.03
83	164	165	62.00	0.0015	108.20	1.22	0.13	0.01
84	163	166	120.00	0.0015	108.20	0.99	0.11	0.02
85	165	166	57.00	0.0015	108.20	0.86	0.09	0.01
86	163	167	276.00	0.0015	108.20	0.64	0.07	0.02
87	164	168	148.00	0.0015	108.20	1.68	0.18	0.06
88	165	169	156.00	0.0015	108.20	1.40	0.15	0.04

TRAMO	NODOS		LONGITUD (m)	ε de Darcy	DIAM. (mm)	GASTO (L/s)	VELOC. (m/s)	PERDIDAS (m)
	Inicial	Final						
89	168	169	60.00	0.0015	108.20	0.08	0.01	0.00
90	169	170	50.00	0.0015	108.20	1.10	0.12	0.01
91	170	171	67.00	0.0015	108.20	0.98	0.11	0.01
92	166	171	191.00	0.0015	108.20	1.44	0.16	0.06
93	171	172	46.00	0.0015	108.20	1.00	0.11	0.01
94	172	173	23.00	0.0015	108.20	0.10	0.01	0.00
95	172	174	88.00	0.0015	108.20	0.20	0.02	0.00
96	168	175	163.00	0.0015	108.20	1.28	0.14	0.04
97	175	176	62.00	0.0015	108.20	0.64	0.07	0.00
98	175	177	105.00	0.0015	108.20	0.50	0.05	0.00
99	177	178	109.00	0.0015	108.20	0.25	0.03	0.00
100	176	179	105.00	0.0015	108.20	0.11	0.01	0.00
100'	177	179	60.00	0.0015	108.20	0.05	0.01	0.00
101	179	180	27.00	0.0015	108.20	0.25	0.03	0.00
102	180	181	61.00	0.0015	108.20	0.41	0.04	0.00
103	171	181	193.00	0.0015	108.20	0.84	0.09	0.02
104	172	181	210.00	0.0015	108.20	0.64	0.07	0.01
105	180	182	41.00	0.0015	108.20	0.10	0.01	0.00
106	3	41	44.00	0.0015	159.60	22.63	1.13	0.29
107	41	42	72.00	0.0015	159.60	15.13	0.76	0.23
108	42	43	550.00	0.0015	108.20	1.78	0.19	0.24
109	41	43	535.00	0.0015	159.60	7.43	0.37	0.46
110	43	44	236.00	0.0015	108.20	1.29	0.14	0.06
111	6	44	443.00	0.0015	159.60	4.00	0.20	0.13
112	44	45	115.00	0.0015	108.20	0.20	0.02	0.00
113	46	47	141.00	0.0015	108.20	0.23	0.02	0.00
114	48	46	9.00	0.0015	108.20	0.25	0.03	0.00
115	48	49	33.00	0.0015	108.20	0.08	0.01	0.00
116	48	50	29.00	0.0015	108.20	0.34	0.04	0.00
117	42	50	56.00	0.0015	159.60	13.24	0.66	0.14
118	50	51	463.00	0.0015	108.20	1.44	0.16	0.14
119	43	51	82.00	0.0015	159.60	5.30	0.26	0.04
120	51	52	70.00	0.0015	108.20	2.27	0.25	0.05
121	52	53	65.00	0.0015	108.20	1.32	0.14	0.02
122	53	54	52.00	0.0015	108.20	0.63	0.07	0.00
123	54	55	37.00	0.0015	108.20	0.00	0.00	0.00
124	50	56	43.00	0.0015	159.60	11.36	0.57	0.08
125	56	57	278.00	0.0015	159.60	3.62	0.18	0.07
126	51	58	44.00	0.0015	159.60	3.59	0.18	0.01
127	57	58	185.00	0.0015	159.60	0.67	0.03	0.00
128	59	60	23.00	0.0015	108.20	0.10	0.01	0.00
129	60	61	47.00	0.0015	108.20	0.77	0.08	0.00
130	61	62	5.00	0.0015	159.60	1.69	0.08	0.00
131	56	62	48.00	0.0015	159.60	7.67	0.38	0.04
132	62	63	57.00	0.0015	159.60	3.36	0.17	0.01
133	63	64	50.00	0.0015	159.60	2.90	0.15	0.01
134	64	65	56.00	0.0015	159.60	2.22	0.11	0.01
135	65	66	52.00	0.0015	159.60	1.52	0.08	0.00
136	66	67	50.00	0.0015	159.60	0.82	0.04	0.00
137	67	68	5.00	0.0015	159.60	2.04	0.10	0.00
138	57	68	51.00	0.0015	159.60	2.51	0.13	0.01
139	58	69	52.00	0.0015	159.60	3.89	0.19	0.01
140	69	70	71.00	0.0015	108.20	1.89	0.21	0.03
141	52	70	102.00	0.0015	108.20	0.84	0.09	0.01
142	70	71	67.00	0.0015	108.20	1.07	0.12	0.01
143	53	71	116.00	0.0015	108.20	0.58	0.06	0.01
144	71	72	62.00	0.0015	159.60	1.36	0.07	0.00

TRAMO	NODOS		LONGITUD (m)	ε de Darcy	DIAM. (mm)	GASTO (L/s)	VELOC. (m/s)	PERDIDAS (m)
	Inicial	Final						
145	54	72	128.00	0.0015	108.20	0.50	0.05	0.01
146	72	73	38.00	0.0015	159.60	1.53	0.08	0.00
147	73	74	60.00	0.0015	159.60	3.52	0.18	0.01
148	44	74	150.00	0.0015	159.60	4.00	0.20	0.04
149	74	75	81.00	0.0015	108.20	0.13	0.01	0.00
150	73	76	26.00	0.0015	159.60	5.01	0.25	0.01
151	76	77	177.00	0.0015	108.20	0.29	0.03	0.00
152	60	78	98.00	0.0015	108.20	0.64	0.07	0.01
153	61	80	88.00	0.0015	108.20	0.91	0.10	0.01
154	78	80	50.00	0.0015	108.20	0.06	0.01	0.00
155	62	81	89.00	0.0015	159.60	2.54	0.13	0.01
156	63	82	88.00	0.0015	108.20	0.37	0.04	0.00
157	81	82	54.00	0.0015	108.20	0.56	0.06	0.00
158	68	83	86.00	0.0015	159.60	2.52	0.13	0.01
159	83	84	187.00	0.0015	159.60	1.03	0.05	0.00
160	69	84	71.00	0.0015	159.60	1.93	0.10	0.01
161	70	85	66.00	0.0015	108.20	1.38	0.15	0.02
162	83	83'	53.00	0.0015	159.60	1.36	0.07	0.00
163	83'	84'	187.00	0.0015	108.20	0.52	0.06	0.01
164	84	84'	54.00	0.0015	159.60	2.52	0.13	0.01
165	85	86	53.00	0.0015	108.20	0.93	0.10	0.01
166	86	87	52.00	0.0015	108.20	0.50	0.05	0.00
167	87	88	55.00	0.0015	108.20	0.09	0.01	0.00
168	76	89	54.00	0.0015	159.60	4.64	0.23	0.02
169	89	90	106.00	0.0015	108.20	0.17	0.02	0.00
170	92	91	29.00	0.0015	108.20	0.00	0.00	0.00
171	78	92	119.00	0.0015	108.20	0.57	0.06	0.01
172	92	93	48.00	0.0015	108.20	0.34	0.04	0.00
173	80	93	126.00	0.0015	108.20	0.60	0.07	0.01
174	93	94	3.00	0.0015	108.20	0.59	0.06	0.00
175	81	94	125.00	0.0015	159.60	1.84	0.09	0.01
176	82	95	120.00	0.0015	108.20	0.71	0.08	0.01
177	94	95	53.00	0.0015	159.60	2.02	0.10	0.00
178	95	96	56.00	0.0015	159.60	2.65	0.13	0.01
179	94	96	203.00	0.0015	108.20	0.59	0.06	0.01
180	96	97	46.00	0.0015	159.60	2.80	0.14	0.01
181	97	98	6.00	0.0015	159.60	0.61	0.03	0.00
182	65	98	198.00	0.0015	108.20	0.63	0.07	0.01
183	66	99	193.00	0.0015	108.20	0.61	0.07	0.01
184	98	99	52.00	0.0015	159.60	1.01	0.05	0.00
185	99	100	47.00	0.0015	159.60	1.18	0.06	0.00
186	67	100	191.00	0.0015	108.20	0.63	0.07	0.01
187	100	101	5.00	0.0015	159.60	1.49	0.07	0.00
188	83'	101	52.00	0.0015	159.60	0.80	0.04	0.00
189	101	102	192.00	0.0015	159.60	2.08	0.10	0.02
190	84'	102	50.00	0.0015	159.60	3.00	0.15	0.01
191	102	103	233.00	0.0015	159.60	4.68	0.23	0.09
192	89	103	81.00	0.0015	159.60	4.37	0.22	0.03
193	94	104	42.00	0.0015	159.60	1.29	0.06	0.00
194	105	105	63.00	0.0015	108.20	0.22	0.02	0.00

**Tabla 4.2.3 - 2**  
**ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA RED DE AGUA POTABLE**  
**RESULTADO DE LOS NUDOS**

NODO	TIPO	DESCRIPCION	COTA		PRESION (m)	CONSUMO (L/s)
			PIEZO (m)	TERRENO (m)		
PPC	7	TANQUE (nivel constante)	578.91	578.91	0.00	242.61
TC	7	TANQUE (nivel constante)	577.35	577.35	0.00	39.28
TIM	7	TANQUE (nivel constante)	608.00	608.00	0.00	60.19
RR	7	TANQUE (nivel constante)	554.00	554.00	0.00	132.53
RB	34	CONSUMO (fijo)	606.45	580.00	26.45	4.99
RCU	0	NUDO SIMPLE	553.45	536.00	17.45	0.00
1	34	CONSUMO (fijo)	572.78	570.00	2.78	0.02
2	34	CONSUMO (fijo)	571.76	570.00	1.76	0.93
3	34	CONSUMO (fijo)	571.68	559.56	12.12	0.03
4	34	CONSUMO (fijo)	571.47	571.07	0.40	0.12
5	34	CONSUMO (fijo)	571.47	560.20	11.27	0.12
6	34	CONSUMO (fijo)	570.99	558.95	12.04	0.30
7	34	CONSUMO (fijo)	569.73	556.79	12.94	0.29
8	34	CONSUMO (fijo)	569.52	557.24	12.28	0.25
9	34	CONSUMO (fijo)	569.32	554.99	14.33	0.64
10	34	CONSUMO (fijo)	569.52	550.01	19.51	0.15
11	34	CONSUMO (fijo)	569.13	548.00	21.13	0.06
12	34	CONSUMO (fijo)	569.13	541.06	28.07	0.09
13	34	CONSUMO (fijo)	568.79	541.06	27.73	0.56
14	34	CONSUMO (fijo)	568.06	535.05	33.01	0.32
15	34	CONSUMO (fijo)	568.02	535.05	32.97	0.06
16	34	CONSUMO (fijo)	567.99	533.20	34.79	0.10
17	34	CONSUMO (fijo)	567.98	532.88	35.10	0.02
18	34	CONSUMO (fijo)	567.97	510.77	57.20	0.80
19	34	CONSUMO (fijo)	567.95	511.88	56.07	0.45
20	34	CONSUMO (fijo)	567.97	524.64	43.33	0.10
21	34	CONSUMO (fijo)	567.96	519.00	48.96	0.06
22	34	CONSUMO (fijo)	568.00	532.88	35.12	0.12
23	34	CONSUMO (fijo)	567.98	525.61	42.37	0.57
24	34	CONSUMO (fijo)	567.99	541.61	26.38	0.10
25	34	CONSUMO (fijo)	567.97	538.38	29.59	0.27
26	34	CONSUMO (fijo)	567.96	521.41	46.55	0.09
27	34	CONSUMO (fijo)	567.95	513.15	54.80	0.03
28	34	CONSUMO (fijo)	567.93	515.41	52.52	0.69
29	34	CONSUMO (fijo)	567.96	519.65	48.31	0.16
30	34	CONSUMO (fijo)	567.96	513.99	53.97	1.14
31	34	CONSUMO (fijo)	567.96	526.00	41.96	0.21
32	34	CONSUMO (fijo)	567.96	516.31	51.65	0.76
33	34	CONSUMO (fijo)	567.96	534.01	33.95	0.38
34	34	CONSUMO (fijo)	567.96	534.01	33.95	0.68
35	34	CONSUMO (fijo)	567.96	520.87	47.09	1.19
36	34	CONSUMO (fijo)	567.91	530.52	37.39	0.86
37	34	CONSUMO (fijo)	567.97	535.55	32.42	0.78
38	34	CONSUMO (fijo)	567.98	541.80	26.18	0.25
39	34	CONSUMO (fijo)	567.97	546.72	21.25	0.41
40	34	CONSUMO (fijo)	567.96	549.68	18.28	0.57
41	34	CONSUMO (fijo)	571.39	570.25	1.14	0.07
42	34	CONSUMO (fijo)	571.16	573.35	-2.19	0.12
43	34	CONSUMO (fijo)	570.93	508.35	62.58	2.62
44	34	CONSUMO (fijo)	570.87	559.33	11.54	1.09
45	34	CONSUMO (fijo)	570.87	554.87	16.00	0.20
46	34	CONSUMO (fijo)	571.03	574.04	-3.01	0.02
47	34	CONSUMO (fijo)	571.02	571.82	-0.80	0.23
48	34	CONSUMO (fijo)	571.03	574.04	-3.01	0.17

NODO	TIPO	DESCRIPCION	COTA		PRESION (m)	CONSUMO (L/s)
			PIEZO (m)	TERRENO (m)		
49	34	CONSUMO (fijo)	571.03	566.98	4.05	0.08
50	34	CONSUMO (fijo)	571.03	575.13	-4.10	0.09
51	34	CONSUMO (fijo)	570.89	563.07	7.82	0.88
52	34	CONSUMO (fijo)	570.84	562.67	8.17	0.11
53	34	CONSUMO (fijo)	570.82	559.44	11.38	0.11
54	34	CONSUMO (fijo)	570.82	555.63	15.19	0.14
55	34	CONSUMO (fijo)	570.82	553.85	16.97	0.00
56	34	CONSUMO (fijo)	570.95	571.71	-0.76	0.07
57	34	CONSUMO (fijo)	570.88	568.97	1.91	0.45
58	34	CONSUMO (fijo)	570.88	562.39	8.49	0.37
59	34	CONSUMO (fijo)	570.90	563.65	7.25	0.10
60	34	CONSUMO (fijo)	570.90	564.43	6.47	0.22
61	34	CONSUMO (fijo)	570.90	569.09	1.81	0.01
62	34	CONSUMO (fijo)	570.90	559.09	11.81	0.08
63	34	CONSUMO (fijo)	570.89	571.64	-0.75	0.08
64	34	CONSUMO (fijo)	570.88	572.49	-1.61	0.10
65	34	CONSUMO (fijo)	570.88	576.12	-5.24	0.07
66	34	CONSUMO (fijo)	570.87	574.29	-3.42	0.09
67	34	CONSUMO (fijo)	570.87	570.95	-0.08	2.23
68	34	CONSUMO (fijo)	570.87	570.95	-0.08	2.05
69	34	CONSUMO (fijo)	570.86	560.94	9.92	0.07
70	34	CONSUMO (fijo)	570.83	556.85	13.98	0.29
71	34	CONSUMO (fijo)	570.82	556.39	14.43	0.29
72	34	CONSUMO (fijo)	570.82	552.64	18.18	0.32
73	34	CONSUMO (fijo)	570.81	551.46	19.35	0.05
74	34	CONSUMO (fijo)	570.83	567.73	3.10	0.35
75	34	CONSUMO (fijo)	570.83	554.78	16.05	0.13
76	34	CONSUMO (fijo)	570.80	552.19	18.62	0.07
77	34	CONSUMO (fijo)	570.80	546.41	24.39	0.29
78	34	CONSUMO (fijo)	570.89	556.68	14.21	0.13
80	34	CONSUMO (fijo)	570.89	559.22	11.67	0.24
81	34	CONSUMO (fijo)	570.89	559.22	11.67	0.14
82	34	CONSUMO (fijo)	570.89	561.92	8.97	0.23
83	34	CONSUMO (fijo)	570.86	564.64	6.22	0.13
84	34	CONSUMO (fijo)	570.86	562.25	8.61	0.44
85	34	CONSUMO (fijo)	570.81	562.69	8.12	0.10
86	34	CONSUMO (fijo)	570.80	561.00	9.80	0.09
87	34	CONSUMO (fijo)	570.80	557.91	12.89	0.08
88	34	CONSUMO (fijo)	570.80	554.75	16.05	0.09
89	34	CONSUMO (fijo)	570.78	555.57	15.21	0.10
90	34	CONSUMO (fijo)	570.78	550.76	20.02	0.17
91	34	CONSUMO (fijo)	570.88	563.62	7.26	0.00
92	34	CONSUMO (fijo)	570.88	562.90	7.98	0.24
93	34	CONSUMO (fijo)	570.88	564.57	6.31	0.35
94	34	CONSUMO (fijo)	570.88	564.57	6.31	1.69
95	34	CONSUMO (fijo)	570.88	572.26	-1.38	0.08
96	34	CONSUMO (fijo)	570.87	577.37	-6.50	0.44
97	34	CONSUMO (fijo)	570.86	577.02	-6.16	0.14
98	34	CONSUMO (fijo)	570.86	577.02	-6.16	0.23
99	34	CONSUMO (fijo)	570.86	572.28	-1.42	0.43
100	34	CONSUMO (fijo)	570.86	567.79	3.07	0.25
101	34	CONSUMO (fijo)	570.86	567.79	3.07	0.22
102	34	CONSUMO (fijo)	570.84	569.23	1.61	0.39
103	34	CONSUMO (fijo)	570.76	549.56	21.20	0.51
104	34	CONSUMO (fijo)	570.88	567.94	2.94	1.29

NODO	TIPO	DESCRIPCION	COTA		PRESION (m)	CONSUMO (L/s)
			PIEZO (m)	TERRENO (m)		
105	34	CONSUMO (fijo)	570.83	567.94	2.89	0.10
106	34	CONSUMO (fijo)	570.83	574.13	-3.30	0.25
107	34	CONSUMO (fijo)	570.84	574.89	-4.05	0.51
108	34	CONSUMO (fijo)	570.83	579.77	-8.94	0.11
109	34	CONSUMO (fijo)	570.86	567.01	3.85	0.07
110	34	CONSUMO (fijo)	570.83	567.05	3.78	0.18
111	34	CONSUMO (fijo)	570.83	572.04	-1.21	0.09
112	34	CONSUMO (fijo)	570.82	566.62	4.20	0.23
113	34	CONSUMO (fijo)	570.82	573.70	-2.88	0.33
114	34	CONSUMO (fijo)	570.82	561.74	9.08	0.13
115	34	CONSUMO (fijo)	570.82	570.11	0.71	0.13
116	34	CONSUMO (fijo)	570.81	563.58	7.23	0.34
117	34	CONSUMO (fijo)	570.80	557.71	13.09	0.24
118	34	CONSUMO (fijo)	570.80	555.00	15.80	0.33
119	34	CONSUMO (fijo)	570.72	548.53	22.19	0.04
120	34	CONSUMO (fijo)	570.19	546.13	24.06	1.65
121	34	CONSUMO (fijo)	570.19	549.58	20.61	0.60
122	34	CONSUMO (fijo)	569.88	548.53	21.35	0.84
123	34	CONSUMO (fijo)	569.93	544.32	25.61	0.14
124	34	CONSUMO (fijo)	569.91	546.35	23.56	0.60
125	34	CONSUMO (fijo)	570.72	550.64	20.08	0.17
126	34	CONSUMO (fijo)	569.72	550.64	19.08	0.56
127	34	CONSUMO (fijo)	569.74	543.66	26.08	0.44
128	34	CONSUMO (fijo)	569.74	541.17	28.57	0.60
129	34	CONSUMO (fijo)	569.74	541.17	28.57	0.16
130	34	CONSUMO (fijo)	569.71	535.99	33.72	0.73
131	34	CONSUMO (fijo)	569.74	543.60	26.14	0.16
132	34	CONSUMO (fijo)	569.74	528.79	40.95	0.62
133	34	CONSUMO (fijo)	569.75	542.20	27.55	0.06
134	34	CONSUMO (fijo)	569.75	542.20	27.55	0.11
135	34	CONSUMO (fijo)	569.74	537.45	32.29	0.55
136	34	CONSUMO (fijo)	569.74	542.37	27.37	0.16
137	34	CONSUMO (fijo)	569.74	550.78	18.96	0.42
138	34	CONSUMO (fijo)	569.74	542.37	27.37	0.53
139	34	CONSUMO (fijo)	569.74	548.74	21.00	0.28
140	34	CONSUMO (fijo)	554.14	548.74	5.40	0.74
141	34	CONSUMO (fijo)	554.10	553.63	0.47	0.09
142	34	CONSUMO (fijo)	554.08	553.63	0.45	0.04
143	34	CONSUMO (fijo)	554.05	553.63	0.42	0.01
144	34	CONSUMO (fijo)	554.02	553.63	0.39	0.02
145	34	CONSUMO (fijo)	554.03	553.63	0.40	0.05
146	34	CONSUMO (fijo)	554.02	553.63	0.39	0.02
147	34	CONSUMO (fijo)	554.08	553.63	0.45	0.04
148	34	CONSUMO (fijo)	554.08	553.63	0.45	0.06
149	34	CONSUMO (fijo)	554.03	553.63	0.40	0.11
150	34	CONSUMO (fijo)	554.01	553.63	0.38	0.64
151	34	CONSUMO (fijo)	554.03	553.63	0.40	0.11
152	34	CONSUMO (fijo)	554.03	553.63	0.40	0.00
153	34	CONSUMO (fijo)	554.02	553.63	0.39	0.10
154	34	CONSUMO (fijo)	554.00	553.63	0.37	0.30
156	34	CONSUMO (fijo)	564.84	534.79	30.05	2.24
155	34	CONSUMO (fijo)	554.02	533.63	20.39	0.01
157	34	CONSUMO (fijo)	564.84	535.06	29.78	0.35
158	34	CONSUMO (fijo)	559.08	511.80	47.28	2.05
159	34	CONSUMO (fijo)	557.94	506.00	51.94	2.05

NODO	TIPO	DESCRIPCION	COTA		PRESION (m)	CONSUMO (L/s)
			PIEZO (m)	TERRENO (m)		
160	34	CONSUMO (fijo)	557.64	501.63	56.01	0.13
161	34	CONSUMO (fijo)	557.53	498.67	58.86	0.13
162	34	CONSUMO (fijo)	557.52	500.00	57.52	0.31
163	34	CONSUMO (fijo)	557.51	497.54	59.97	0.42
164	34	CONSUMO (fijo)	557.52	498.23	59.29	0.23
165	34	CONSUMO (fijo)	557.50	496.64	60.86	0.39
166	34	CONSUMO (fijo)	557.49	494.58	62.91	0.41
167	34	CONSUMO (fijo)	557.49	490.00	67.49	0.64
168	34	CONSUMO (fijo)	557.46	497.50	59.96	0.32
169	34	CONSUMO (fijo)	557.46	497.00	60.46	0.38
170	34	CONSUMO (fijo)	557.45	496.35	61.10	0.12
171	34	CONSUMO (fijo)	557.44	489.70	67.74	0.59
172	34	CONSUMO (fijo)	557.43	488.00	69.43	0.25
173	34	CONSUMO (fijo)	557.43	487.00	70.43	0.10
174	34	CONSUMO (fijo)	557.43	490.00	67.43	0.20
175	34	CONSUMO (fijo)	557.42	495.00	62.42	0.14
176	34	CONSUMO (fijo)	557.41	495.00	62.41	0.52
177	34	CONSUMO (fijo)	557.41	487.00	70.41	0.30
178	34	CONSUMO (fijo)	557.41	485.00	72.41	0.25
179	34	CONSUMO (fijo)	557.41	487.00	70.41	0.31
180	34	CONSUMO (fijo)	557.41	487.00	70.41	0.06
181	34	CONSUMO (fijo)	557.42	488.00	69.42	1.07
182	34	CONSUMO (fijo)	557.41	485.00	72.41	0.10
25'	34	CONSUMO (fijo)	567.98	531.33	36.65	0.04
55'	34	CONSUMO (fijo)	568.01	553.85	14.16	0.01
83'	34	CONSUMO (fijo)	570.86	564.64	6.22	0.03
84'	34	CONSUMO (fijo)	570.85	562.25	8.60	0.04

Los valores remarcados indican presiones menores a 10 mca y los valores cursivos indican presiones mayores a 50 mca.

#### 4.3 ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA SITUACIÓN A FUTURO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

Aceptando la tasa de crecimiento actual y la tendencia de crecimiento se obtiene para el año 2021 una tasa de crecimiento del 2.65% anual y una población urbana de 124,697 hab, como se muestra en la tabla 4.3-1.

**Tabla 4.3 - 1**  
**PROYECTO DE LA POBLACIÓN Y DOTACIÓN AL AÑO 2021**

AÑO	POB (HAB)	TASA DE CRECIMIENTO	CONSUMO (l/H/d)	PERDIDA (%)	DOTACIÓN (l/H/d)	Qmed (lps)	QMH (lps)
2001	62,176	4.34	221.86	26.23	280.05	201.53	362.76
2002	64,874	4.26	221.86	25.74	278.97	209.47	377.04
2003	67,638	4.18	221.86	25.26	277.9	217.55	391.60
2004	70,465	4.09	221.86	24.79	276.86	225.80	406.44
2005	73,347	4.01	221.86	24.33	275.84	234.17	421.50
2006	76,289	3.92	221.86	23.87	274.82	242.66	436.78

AÑO	POB (HAB)	TASA DE CRECIMIENTO	CONSUMO (l/H/d)	PERDIDA (%)	DOTACIÓN (l/H/d)	Q <sub>med</sub> (lps)	Q <sub>MH</sub> (lps)
2007	79,279	3.84	221.86	23.43	273.84	251.27	452.29
2008	82,323	3.75	221.86	22.99	272.87	260.00	467.99
2009	85,411	3.67	221.86	22.56	271.91	268.80	483.83
2010	88,545	3.58	221.86	22.14	270.98	277.71	499.87
2011	91,715	3.5	221.86	21.73	270.07	286.68	516.03
2012	94,925	3.42	221.86	21.32	269.16	295.72	532.29
2013	98,172	3.33	221.86	20.93	268.3	304.85	548.74
2014	101,441	3.25	221.86	20.54	267.43	313.98	565.17
2015	104,737	3.16	221.86	20.15	266.56	323.13	581.64
2016	108,047	3.08	221.86	19.78	265.74	332.32	598.18
2017	111,375	2.99	221.86	19.41	264.92	341.50	614.70
2018	114,705	2.91	221.86	19.05	264.12	350.65	631.17
2019	118,043	2.82	221.86	18.69	263.33	359.77	647.59
2020	121,372	2.74	221.86	18.34	262.55	368.82	663.88
2021	124,697	2.65	221.86	18.00	261.79	377.83	680.09

#### 4.3.1 PROYECTO DE SECTORIZACIÓN.

La red de distribución existente está compuesta por tuberías con diámetro mínimo de 100 mm (4"), que dan flexibilidad al sistema para la formación de circuitos y permiten cambios en los puntos de alimentación a la red, sin incrementos significativos en las pérdidas de carga por fricción.

Con el plano topográfico de la localidad y con la ubicación de los tanques de regularización existentes se definieron las zonas de presión con rangos de servicio de 10 a 50 m.c.a. y con los planos de la red de distribución existente se definieron las zonas de influencia de cada tanque y se complementaron con aquellas zonas urbanas que no disponen de influencia en alguno de los tanques existentes y que por medio de válvulas reguladoras de presión se interconectan a los tanques existentes.

Una vez determinada la zona de influencia de cada tanque se identificaron las colonias servidas y con la información de campo del número de tomas identificadas por colonia, se determinó la población de cada zona de influencia y el gasto en base a los consumos determinados en el padrón de usuarios.

El planeamiento de sectorización implica optimizar los recursos disponibles, tratando de aprovechar al máximo la capacidad instalada, por lo que se incluye dentro de los elementos de sectorización minimizar los bombeos y reincorporar los tanques existentes que actualmente están fuera de operación y que ayudarán a la función de optimización.

Con el propósito de disminuir los consumos de energía en los pozos, plantas de bombeo y de rebombeo existentes en el sistema actual de distribución, se proponen las acciones siguientes:

- \* Rehabilitación de los tanques.
- \* Construcción de tanque elevado en planta potabilizadora.
- \* Colocación de válvulas reguladoras de presión.

- \* Cortes de tuberías para formación de zonas de presión y/o de influencia de tanques de regularización.
- \* Colocación de tubería de refuerzo.

#### 4.3.2 ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE (SITUACIÓN A FUTURO)

El análisis hidráulico de la red de distribución de cada tanque se elaboró con ayuda del programa AH recomendado por las normas de la C.N.A. En este caso se analizó en forma conjunta la red primaria con la red secundaria para revisar que en todos los nudos se registren presiones dentro de los rangos de 10 a 50 m.c.a. Como ejemplo solo se presentan las acciones que se llevarán a cabo en una de las zonas en que se dividió el estudio.

El sistema del Tanque 2, con capacidad de 1000 m<sup>3</sup> en dos tanques, con cota de terreno de 594.00 m, se alimenta actualmente de los equipos de bombeo instalados en el Tanque 1, con infraestructura existente para recibir agua por gravedad de la Planta Potabilizadora II, y da servicio a la red de distribución de las siguientes colonias:

- \* Francisco Villa
- \* Loma Alta y Residencial San Jorge
- \* Infonavit Paraíso
- \* Paraíso
- \* Braulio Maldonado
- \* Benito Juárez
- \* Escudero
- \* Morelos

De acuerdo con la información obtenida en campo y en el organismo operador de la localidad, esta zona no tiene problemas en el suministro de agua, por lo que se mantiene fijo su sector de distribución con algunos ajustes en cuanto cortes de tuberías en los nudos 669 y 895' y la colocación de válvulas reguladoras de presión en los nudos 894T con presión de 23.43 metros (C.Terr. = 536.57 m, C.Piezo.= 560.00 m y un consumo de 13.84 lps), 872T con presión de 22.87 metros (C.Terr. = 542.13 m, C.Piezo.= 565.00 m y un gasto de 7.23 lps) y 852T con presión de 14.90 metros (C.Terr. = 547.85 m, C.Piezo.= 562.75 m y un gasto de 2.27 lps), así como el cierre de las válvulas que se encuentran en los nudos 851' y 870.

Se propone reforzar la tubería existente de 3" entre los nudos 842 y 848 con una tubería paralela de 4" de diámetro y longitud de 249 m, así como sustituir las tuberías de 4" que se derivan del tanque hasta el nudo 841 por tuberías de 6" y 8" de diámetro, con longitud de 100 m cada una.

En las tablas 4.3.2-1 y 4.3.2-2 se presentan los datos de proyecto para el análisis hidráulico de la red de distribución.

**Tabla 4.3.2 - 1**  
**ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA RED DE AGUA POTABLE**  
**RESULTADO DE LOS TRAMOS**

TRAMO	NODOS		LONGITUD (m)	e de Darcy	DIAM. (mm)	GASTO (L/s)	VELOC. (m/s)	PERDIDAS (m)
	Inicial	Final						
1	PPC	1	142.00	0.0015	159.60	13.11	0.66	0.34
2	2	3	76.00	0.0015	159.60	0.14	0.01	0.00
3	3	4	109.00	0.0015	159.60	6.15	0.31	0.07
4	4	5	99.00	0.0015	108.20	0.23	0.02	0.00
5	4	6	259.00	0.0015	159.60	5.66	0.28	0.14
6	6	7	253.00	0.0015	108.20	3.25	0.35	0.32
7	7	8	101.00	0.0015	108.20	1.82	0.20	0.05
8	9	8	115.00	0.0015	108.20	1.00	0.11	0.02
9	7	9	551.00	0.0015	108.20	0.84	0.09	0.06
10	8	10	131.00	0.0015	108.20	0.31	0.03	0.00
11	9	11	56.00	0.0015	108.20	0.55	0.06	0.00
12	11	12	77.00	0.0015	108.20	0.18	0.02	0.00
13	11	13	103.00	0.0015	108.20	0.24	0.03	0.00
14	38	55	204.00	0.0015	207.90	14.70	0.43	0.17
15	38	39	200.00	0.0015	159.60	14.33	0.72	0.57
16	39	40	270.00	0.0015	108.20	0.89	0.10	0.03
17	39	127	20.00	0.0015	159.60	12.79	0.64	0.05
18	119	120	497.00	0.0015	159.60	0.46	0.02	0.00
19	120	121	283.00	0.0015	159.60	0.93	0.05	0.01
20	123	122	398.00	0.0015	108.20	1.31	0.14	0.10
21	120	123	67.00	0.0015	108.20	3.02	0.33	0.07
22	123	124	284.00	0.0015	108.20	0.94	0.10	0.04
23	128	126	269.00	0.0015	108.20	0.89	0.10	0.03
24	128	127	54.00	0.0015	159.60	12.60	0.63	0.12
25	129	128	31.00	0.0015	159.60	11.61	0.58	0.06
26	131	129	66.00	0.0015	159.60	10.25	0.51	0.10
27	129	130	345.00	0.0015	108.20	1.14	0.12	0.07
28	133	131	81.00	0.0015	159.60	8.42	0.42	0.09
29	131	132	298.00	0.0015	108.20	1.56	0.17	0.10
30	123	130	77.00	0.0015	108.20	5.49	0.60	0.25
31	133	134	6.00	0.0015	159.60	2.61	0.13	0.00
32	134	135	247.00	0.0015	108.20	0.59	0.06	0.01
33	132	135	72.00	0.0015	159.60	0.58	0.03	0.00
34	134	136	76.00	0.0015	159.60	2.11	0.11	0.01
35	136	137	198.00	0.0015	108.20	0.65	0.07	0.01
36	136	138	203.00	0.0015	159.60	1.20	0.06	0.01
37	135	138	73.00	0.0015	159.60	0.22	0.01	0.00
38	138	139	116.00	0.0015	159.60	0.39	0.02	0.00
39	1	150	805.00	0.0015	159.60	3.50	0.17	0.18
40	150	157	16.00	0.0015	159.60	0.35	0.02	0.00
41	1581	159	1152.00	0.0015	159.60	9.62	0.48	1.59
42	159	160	57.00	0.0015	108.20	7.52	0.82	0.33
43	160	161	58.00	0.0015	108.20	4.10	0.45	0.11
44	161	162	135.00	0.0015	108.20	0.86	0.09	0.02
45	161	163	62.00	0.0015	108.20	1.60	0.17	0.02
46	162	163	121.00	0.0015	108.20	0.53	0.06	0.01
47	160	164	102.00	0.0015	108.20	3.29	0.36	0.13
48	161	165	109.00	0.0015	108.20	1.51	0.16	0.04
49	164	165	62.00	0.0015	108.20	1.27	0.14	0.01
50	163	166	120.00	0.0015	108.20	1.05	0.11	0.02
502	165	166	57.00	0.0015	108.20	0.89	0.10	0.01
51	163	167	276.00	0.0015	108.20	0.65	0.07	0.02
52	164	168	148.00	0.0015	108.20	1.78	0.19	0.06
53	165	169	156.00	0.0015	108.20	1.50	0.16	0.05
54	168	169	60.00	0.0015	108.20	0.12	0.01	0.00
55	169	170	50.00	0.0015	108.20	1.11	0.12	0.01
56	170	171	67.00	0.0015	108.20	0.99	0.11	0.01
57	166	171	191.00	0.0015	108.20	1.51	0.16	0.06
58	171	172	46.00	0.0015	108.20	1.03	0.11	0.01
59	172	173	23.00	0.0015	108.20	0.00	0.00	0.00
60	172	174	88.00	0.0015	108.20	0.21	0.02	0.00
61	168	175	163.00	0.0015	108.20	1.31	0.14	0.04
62	175	176	62.00	0.0015	108.20	0.65	0.07	0.00
63	175	177	105.00	0.0015	108.20	0.51	0.06	0.00
64	177	178	109.00	0.0015	108.20	0.26	0.03	0.00
65	176	179	105.00	0.0015	108.20	0.12	0.01	0.00
66	177	179	60.00	0.0015	108.20	0.00	0.00	0.00

TRAMO	NODOS		LONGITUD (m)	e de Darcy	DIAM. (mm)	GASTO (L/s)	VELOC. (m/s)	PERDIDAS (m)
	Inicial	Final						
67	179	180	27.00	0.0015	108.20	0.27	0.03	0.00
68	180	181	61.00	0.0015	108.20	0.44	0.05	0.00
69	171	181	193.00	0.0015	108.20	0.86	0.09	0.02
70	172	181	210.00	0.0015	108.20	0.66	0.07	0.02
71	180	182	41.00	0.0015	108.20	0.10	0.01	0.00
72	TELEV	42	65.00	0.0015	159.60	29.41	1.47	0.68
73	3	41	44.00	0.0015	159.60	6.62	0.33	0.03
75	41	42	72.00	0.0015	159.60	11.58	0.58	0.14
76	42	43	550.00	0.0015	108.20	2.23	0.24	0.35
77	41	43	535.00	0.0015	159.60	4.87	0.24	0.22
78	43	44	236.00	0.0015	108.20	1.18	0.13	0.05
79	6	44	443.00	0.0015	159.60	1.80	0.09	0.03
80	44	45	115.00	0.0015	108.20	0.26	0.03	0.00
81	46	47	141.00	0.0015	108.20	0.32	0.03	0.00
82	48	46	9.00	0.0015	108.20	0.31	0.03	0.00
83	48	49	33.00	0.0015	108.20	0.08	0.01	0.00
84	48	50	29.00	0.0015	108.20	0.50	0.05	0.00
85	42	50	56.00	0.0015	159.60	15.44	0.77	0.18
86	50	51	463.00	0.0015	108.20	1.73	0.19	0.19
87	43	51	82.00	0.0015	159.60	3.44	0.17	0.02
88	51	52	70.00	0.0015	108.20	1.69	0.18	0.03
89	52	53	65.00	0.0015	108.20	0.81	0.09	0.01
90	53	54	52.00	0.0015	108.20	0.35	0.04	0.00
91	54	55	37.00	0.0015	108.20	0.07	0.01	0.00
92	50	56	43.00	0.0015	159.60	13.10	0.65	0.10
93	56	57	278.00	0.0015	159.60	4.18	0.21	0.09
94	51	58	44.00	0.0015	159.60	2.25	0.11	0.00
95	57	58	185.00	0.0015	159.60	1.19	0.06	0.01
96	59	60	23.00	0.0015	108.20	0.10	0.01	0.00
97	60	61	47.00	0.0015	108.20	0.92	0.10	0.01
98	61	62	5.00	0.0015	159.60	2.04	0.10	0.00
99	56	62	48.00	0.0015	159.60	8.81	0.44	0.06
100	62	63	57.00	0.0015	159.60	3.76	0.19	0.01
1009	63	64	50.00	0.0015	159.60	3.13	0.16	0.01
101	64	65	56.00	0.0015	159.60	2.34	0.12	0.01
102	65	66	52.00	0.0015	159.60	1.52	0.08	0.00
103	66	67	50.00	0.0015	159.60	0.75	0.04	0.00
104	67	68	5.00	0.0015	159.60	3.97	0.20	0.00
105	57	68	51.00	0.0015	159.60	2.35	0.12	0.01
503	58	69	52.00	0.0015	159.60	2.92	0.15	0.01
106	69	70	71.00	0.0015	108.20	1.54	0.17	0.02
107	52	70	102.00	0.0015	108.20	0.73	0.08	0.01
108	70	71	67.00	0.0015	108.20	0.00	0.00	0.00
109	53	71	116.00	0.0015	108.20	0.30	0.03	0.00
110	71	72	62.00	0.0015	159.60	0.16	0.01	0.00
111	54	72	128.00	0.0015	108.20	0.16	0.02	0.00
112	72	73	38.00	0.0015	159.60	0.47	0.02	0.00
113	73	74	60.00	0.0015	159.60	0.50	0.02	0.00
114	44	74	150.00	0.0015	159.60	1.16	0.06	0.00
115	74	75	81.00	0.0015	108.20	0.19	0.02	0.00
116	73	76	26.00	0.0015	159.60	3.17	0.16	0.00
117	76	77	177.00	0.0015	108.20	0.40	0.04	0.01
118	60	78	98.00	0.0015	108.20	0.76	0.08	0.01
119	61	80	88.00	0.0015	108.20	1.08	0.12	0.02
120	78	80	50.00	0.0015	108.20	0.12	0.01	0.00
121	62	81	89.00	0.0015	159.60	2.94	0.15	0.01
122	63	82	88.00	0.0015	108.20	0.49	0.05	0.00
123	81	82	54.00	0.0015	108.20	0.64	0.07	0.00
124	68	83	86.00	0.0015	159.60	2.24	0.11	0.01
125	83	84	187.00	0.0015	159.60	0.74	0.04	0.00
126	69	84	71.00	0.0015	159.60	1.24	0.06	0.00
127	70	85	66.00	0.0015	108.20	1.93	0.21	0.03
128	83	83'	53.00	0.0015	159.60	1.31	0.07	0.00
129	83'	84'	187.00	0.0015	108.20	0.27	0.03	0.00
130	84	84'	54.00	0.0015	159.60	1.41	0.07	0.00
131	85	86	53.00	0.0015	108.20	1.30	0.14	0.01
132	86	87	52.00	0.0015	108.20	0.71	0.08	0.00
133	87	88	55.00	0.0015	108.20	0.13	0.01	0.00
134	76	89	54.00	0.0015	159.60	0.48	0.02	0.00
135	89	90	106.00	0.0015	108.20	0.24	0.03	0.00
136	92	91	29.00	0.0015	108.20	0.00	0.00	0.00

TRAMO	NODOS		LONGITUD (m)	e de Darcy	DIAM. (mm)	GASTO (L/s)	VELOC. (m/s)	PERDIDAS (m)
	Inicial	Final						
137	78	92	119.00	0.0015	108.20	0.64	0.07	0.01
138	92	93	48.00	0.0015	108.20	0.30	0.03	0.00
139	80	93	126.00	0.0015	108.20	0.67	0.07	0.01
140	93	94	3.00	0.0015	108.20	0.59	0.06	0.00
141	81	94	125.00	0.0015	159.60	2.10	0.10	0.01
142	82	95	120.00	0.0015	108.20	0.81	0.09	0.01
143	94	95	53.00	0.0015	159.60	2.29	0.11	0.01
144	95	96	56.00	0.0015	159.60	2.70	0.13	0.01
145	64	96	203.00	0.0015	108.20	0.67	0.07	0.02
146	96	97	46.00	0.0015	159.60	2.78	0.14	0.01
147	97	98	6.00	0.0015	159.60	0.61	0.03	0.00
148	65	98	198.00	0.0015	108.20	0.70	0.08	0.02
149	66	99	193.00	0.0015	108.20	0.64	0.07	0.01
150	98	99	52.00	0.0015	159.60	0.00	0.00	0.00
151	99	100	47.00	0.0015	159.60	0.19	0.01	0.00
152	67	100	191.00	0.0015	108.20	0.63	0.07	0.01
153	100	101	5.00	0.0015	159.60	1.27	0.06	0.00
154	83'	101	52.00	0.0015	159.60	0.90	0.04	0.00
155	101	102	192.00	0.0015	159.60	0.84	0.04	0.00
156	84'	102	50.00	0.0015	159.60	1.12	0.06	0.00
157	102	103	233.00	0.0015	159.60	1.42	0.07	0.01
158	89	103	81.00	0.0015	159.60	0.85	0.04	0.00
159	94	104	42.00	0.0015	159.60	0.44	0.02	0.00
160	106	105	63.00	0.0015	108.20	0.28	0.03	0.00
161	97	107	49.00	0.0015	108.20	2.93	0.32	0.05
162	105	107	154.00	0.0015	108.20	0.41	0.04	0.01
163	108	107	63.00	0.0015	108.20	0.88	0.10	0.01
164	106	108	154.00	0.0015	108.20	0.23	0.02	0.00
165	100	109	42.00	0.0015	108.20	0.10	0.01	0.00
166	107	110	110.00	0.0015	108.20	1.02	0.11	0.02
167	110	111	63.00	0.0015	108.20	0.18	0.02	0.00
168	108	111	109.00	0.0015	108.20	0.76	0.08	0.01
169	110	112	135.00	0.0015	108.20	0.58	0.06	0.01
170	111	113	137.00	0.0015	108.20	0.56	0.06	0.01
171	112	113	66.00	0.0015	108.20	0.10	0.01	0.00
172	112	114	81.00	0.0015	108.20	0.19	0.02	0.00
173	113	115	82.00	0.0015	108.20	0.19	0.02	0.00
174	85	116	209.00	0.0015	108.20	0.48	0.05	0.01
175	86	117	208.00	0.0015	108.20	0.47	0.05	0.01
176	87	118	204.00	0.0015	108.20	0.46	0.05	0.01
177	103	119	31.00	0.0015	159.60	0.60	0.03	0.00
178	119	125	100.00	0.0015	108.20	0.23	0.02	0.00
179	TELEV	55'	790.00	0.0015	298.90	29.41	0.42	0.40
180	55'	140	1065.00	0.0015	298.90	44.78	0.64	1.15
181	140	RRT	40.00	0.0015	298.90	44.78	0.64	0.04

**Tabla 4.3.2 - 2**  
**ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA RED DE AGUA POTABLE**  
**RESULTADO DE LOS NUDOS**

NODO	TIPO	DESCRIPCION	COTA		PRESIÓN (m)	CONSUMO (L/s)
			PIEZO (m)	TERRENO (m)		
PPC	7	TANQUE (nivel constante)	578.91	578.91	0.00	13.11
TELEV	0	NUDO SIMPLE	592.40	588.91	3.49	0.00
RRT	7	TANQUE (nivel constante)	584.00	554.00	40.00	44.80
1	34	CONSUMO (fijo)	578.57	570.00	8.57	9.61
2	34	CONSUMO (fijo)	591.55	570.00	21.55	0.14
3	34	CONSUMO (fijo)	591.55	559.56	31.99	0.33
4	34	CONSUMO (fijo)	591.48	571.07	20.41	0.26
5	34	CONSUMO (fijo)	591.48	560.20	31.28	0.23
6	34	CONSUMO (fijo)	591.35	558.95	32.40	0.61
7	34	CONSUMO (fijo)	591.02	556.79	34.23	0.59
8	34	CONSUMO (fijo)	590.98	557.24	33.74	0.51
9	34	CONSUMO (fijo)	590.96	554.99	35.97	1.30
10	34	CONSUMO (fijo)	590.98	542.00	48.98	0.31
11	34	CONSUMO (fijo)	590.96	550.01	40.95	0.12

NODO	TIPO	DESCRIPCION	COTA		PRESIÓN (m)	CONSUMO (L/s)
			PIEZO (m)	TERRENO (m)		
12	34	CONSUMO (fijo)	590.96	548.00	42.96	0.18
13	34	CONSUMO (fijo)	590.96	541.06	49.90	0.24
38	34	CONSUMO (fijo)	592.63	541.80	50.83	0.37
39	34	CONSUMO (fijo)	592.06	546.72	45.34	0.65
40	34	CONSUMO (fijo)	592.03	549.68	42.35	0.89
41	34	CONSUMO (fijo)	591.58	570.25	21.33	0.10
42	34	CONSUMO (fijo)	591.72	573.35	18.37	0.16
43	34	CONSUMO (fijo)	591.36	558.35	33.01	2.48
44	34	CONSUMO (fijo)	591.32	559.33	31.99	1.56
45	34	CONSUMO (fijo)	591.31	554.87	36.44	0.26
46	34	CONSUMO (fijo)	591.54	574.04	17.50	0.01
47	34	CONSUMO (fijo)	591.53	571.82	19.71	0.32
48	34	CONSUMO (fijo)	591.54	574.04	17.50	0.11
49	34	CONSUMO (fijo)	591.54	566.98	24.56	0.08
50	34	CONSUMO (fijo)	591.54	575.13	16.41	0.11
51	34	CONSUMO (fijo)	591.35	563.07	28.28	1.23
52	34	CONSUMO (fijo)	591.32	562.67	28.65	0.16
53	34	CONSUMO (fijo)	591.31	559.44	31.87	0.16
54	34	CONSUMO (fijo)	591.31	555.63	35.68	0.12
55	34	CONSUMO (fijo)	591.31	553.85	37.46	0.07
55'	34	CONSUMO (fijo)	592.80	553.85	38.95	0.67
56	34	CONSUMO (fijo)	591.43	571.71	19.72	0.11
57	34	CONSUMO (fijo)	591.35	568.97	22.38	0.64
58	34	CONSUMO (fijo)	591.34	562.39	28.95	0.51
59	34	CONSUMO (fijo)	591.37	563.65	27.72	0.10
60	34	CONSUMO (fijo)	591.37	564.43	26.94	0.26
61	34	CONSUMO (fijo)	591.38	569.09	22.29	0.04
62	34	CONSUMO (fijo)	591.38	559.09	32.29	0.07
63	34	CONSUMO (fijo)	591.36	571.64	19.72	0.13
64	34	CONSUMO (fijo)	591.35	572.49	18.86	0.12
65	34	CONSUMO (fijo)	591.35	576.12	15.23	0.12
66	34	CONSUMO (fijo)	591.35	574.29	17.06	0.12
67	34	CONSUMO (fijo)	591.34	570.95	20.39	3.85
68	34	CONSUMO (fijo)	591.34	570.95	20.39	4.09
69	34	CONSUMO (fijo)	591.33	560.94	30.39	0.14
70	34	CONSUMO (fijo)	591.31	556.85	34.46	0.34
71	34	CONSUMO (fijo)	591.31	556.39	34.92	0.45
72	34	CONSUMO (fijo)	591.31	552.64	38.67	0.47
73	34	CONSUMO (fijo)	591.31	551.46	39.85	3.20
74	34	CONSUMO (fijo)	591.31	567.73	23.58	0.47
75	34	CONSUMO (fijo)	591.31	554.78	36.53	0.19
76	34	CONSUMO (fijo)	591.32	552.19	39.13	3.09
77	34	CONSUMO (fijo)	591.31	549.41	41.90	0.40
78	34	CONSUMO (fijo)	591.36	556.68	34.68	0.24
80	34	CONSUMO (fijo)	591.36	559.22	32.14	0.29
81	34	CONSUMO (fijo)	591.36	559.22	32.14	0.20
82	34	CONSUMO (fijo)	591.36	561.92	29.44	0.32
83	34	CONSUMO (fijo)	591.33	564.64	26.69	0.18
83'	34	CONSUMO (fijo)	591.33	564.64	26.69	0.14
84	34	CONSUMO (fijo)	591.33	562.25	29.08	0.58
84'	34	CONSUMO (fijo)	591.33	562.25	29.08	0.56
85	34	CONSUMO (fijo)	591.28	562.69	28.59	0.15
86	34	CONSUMO (fijo)	591.26	561.00	30.26	0.12
87	34	CONSUMO (fijo)	591.26	557.91	33.35	0.12
88	34	CONSUMO (fijo)	591.26	554.75	36.51	0.13
89	34	CONSUMO (fijo)	591.32	555.57	35.75	0.13
90	34	CONSUMO (fijo)	591.31	550.76	40.55	0.24
91	34	CONSUMO (fijo)	591.35	563.62	27.73	0.00
92	34	CONSUMO (fijo)	591.35	562.90	28.45	0.34
93	34	CONSUMO (fijo)	591.35	564.57	26.78	0.38
94	34	CONSUMO (fijo)	591.35	564.57	26.78	0.84
95	34	CONSUMO (fijo)	591.35	572.26	19.09	0.40
96	34	CONSUMO (fijo)	591.34	577.37	13.97	0.59
97	34	CONSUMO (fijo)	591.33	577.02	14.31	0.76
98	34	CONSUMO (fijo)	591.33	577.02	14.31	1.31
99	34	CONSUMO (fijo)	591.33	572.28	19.05	0.83
100	34	CONSUMO (fijo)	591.33	567.79	23.54	0.93
101	34	CONSUMO (fijo)	591.33	567.79	23.54	1.32
102	34	CONSUMO (fijo)	591.33	569.23	22.10	0.54
103	34	CONSUMO (fijo)	591.32	549.56	41.76	0.03

NODO	TIPO	DESCRIPCION	COTA		PRESIÓN (m)	CONSUMO (L/s)
			PIEZO (m)	TERRENO (m)		
104	34	CONSUMO (fijo)	591.35	567.94	23.41	0.44
105	34	CONSUMO (fijo)	591.27	567.94	23.33	0.14
106	34	CONSUMO (fijo)	591.27	574.13	17.14	0.05
107	34	CONSUMO (fijo)	591.28	574.89	16.39	0.61
108	34	CONSUMO (fijo)	591.27	579.77	11.50	0.35
109	34	CONSUMO (fijo)	591.33	567.01	24.32	0.10
110	34	CONSUMO (fijo)	591.26	567.05	24.21	0.26
111	34	CONSUMO (fijo)	591.26	572.04	19.22	0.38
112	34	CONSUMO (fijo)	591.25	566.62	24.63	0.29
113	34	CONSUMO (fijo)	591.25	573.70	17.55	0.47
114	34	CONSUMO (fijo)	591.25	561.74	29.51	0.19
115	34	CONSUMO (fijo)	591.25	570.11	21.14	0.19
116	34	CONSUMO (fijo)	591.27	563.58	27.69	0.48
117	34	CONSUMO (fijo)	591.26	557.71	33.55	0.47
118	34	CONSUMO (fijo)	591.25	555.00	36.25	0.46
119	34	CONSUMO (fijo)	591.32	548.53	42.79	0.83
120	34	CONSUMO (fijo)	591.32	546.13	45.19	1.63
121	34	CONSUMO (fijo)	591.31	549.58	41.73	0.93
122	34	CONSUMO (fijo)	591.30	548.53	42.77	1.31
123	34	CONSUMO (fijo)	591.40	544.32	47.08	0.22
124	34	CONSUMO (fijo)	591.36	546.35	45.01	0.94
125	34	CONSUMO (fijo)	591.32	550.64	40.68	0.23
126	34	CONSUMO (fijo)	591.86	550.64	41.22	0.89
127	34	CONSUMO (fijo)	592.02	543.66	48.36	0.19
128	34	CONSUMO (fijo)	591.90	541.17	50.73	0.10
129	34	CONSUMO (fijo)	591.84	541.17	50.67	0.22
130	34	CONSUMO (fijo)	591.77	535.99	55.78	1.14
131	34	CONSUMO (fijo)	591.73	543.60	48.14	0.27
132	34	CONSUMO (fijo)	591.63	528.79	62.84	0.98
133	34	CONSUMO (fijo)	591.65	542.20	49.45	0.32
134	34	CONSUMO (fijo)	591.65	542.20	49.45	0.06
135	34	CONSUMO (fijo)	591.63	537.45	54.18	1.36
136	34	CONSUMO (fijo)	591.64	542.37	49.27	0.26
137	34	CONSUMO (fijo)	591.63	550.78	40.84	0.65
138	34	CONSUMO (fijo)	591.63	542.37	49.26	0.59
139	34	CONSUMO (fijo)	591.63	548.74	42.89	0.39
140	34	CONSUMO (fijo)	593.96	553.63	40.33	0.02
156	34	CONSUMO (fijo)	578.39	534.79	43.60	3.85
157	34	CONSUMO (fijo)	578.39	535.06	43.33	0.35
158f	7	TANQUE (nivel constante)	531.80	511.80	20.00	9.62
159	34	CONSUMO (fijo)	530.21	506.00	24.21	2.10
160	34	CONSUMO (fijo)	529.88	501.63	28.25	0.13
161	34	CONSUMO (fijo)	529.77	498.67	31.10	0.14
162	34	CONSUMO (fijo)	529.75	500.00	29.75	0.32
163	34	CONSUMO (fijo)	529.75	497.54	32.21	0.43
164	34	CONSUMO (fijo)	529.75	498.23	31.52	0.24
165	34	CONSUMO (fijo)	529.73	496.64	33.09	0.39
166	34	CONSUMO (fijo)	529.73	494.58	35.15	0.42
167	34	CONSUMO (fijo)	529.73	490.00	39.73	0.65
168	34	CONSUMO (fijo)	529.69	497.50	32.19	0.35
169	34	CONSUMO (fijo)	529.68	497.00	32.68	0.51
170	34	CONSUMO (fijo)	529.68	496.35	33.33	0.12
171	34	CONSUMO (fijo)	529.67	489.70	39.97	0.61
172	34	CONSUMO (fijo)	529.66	488.00	41.66	0.15
173	34	CONSUMO (fijo)	529.66	487.00	42.66	0.00
174	34	CONSUMO (fijo)	529.66	490.00	39.66	0.21
175	34	CONSUMO (fijo)	529.64	495.00	34.64	0.15
176	34	CONSUMO (fijo)	529.64	495.00	34.64	0.53
177	34	CONSUMO (fijo)	529.64	487.00	42.64	0.25
178	34	CONSUMO (fijo)	529.64	485.00	44.64	0.26
179	34	CONSUMO (fijo)	529.64	487.00	42.64	0.39
180	34	CONSUMO (fijo)	529.64	487.00	42.64	0.06
181	34	CONSUMO (fijo)	529.64	488.00	41.64	1.09
182	34	CONSUMO (fijo)	529.64	485.00	44.64	0.10

#### 4.4 OBRAS DE REFUERZO Y MEJORAMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.

La rehabilitación interna de las tuberías de una red de distribución, se puede efectuar con revestimiento con mortero cemento. Para su aplicación en primera instancia, hay que considerar el tiempo de reparación, al grado de hacer líneas de abastecimiento provisionales para las viviendas. El largo de los tramos de rehabilitación depende del calibre de los codos, como regla pueden tomarse tramos de 80 a 120 metros y en el caso de diámetros mayores y condiciones favorables, tramos de hasta 350 metros de largo. Antes de aplicar el mortero hay que limpiar muy bien las tuberías con aparatos especiales, a continuación se introducen los aparatos para el revestimiento del mortero dentro de las tuberías. Para diámetros de 80 a 300 mm ha resultado ser útil el llamado procedimiento de expulsión. En el caso de diámetros mayores se arroja el mortero de cemento con una cabeza giratoria contra la pared interior de la tubería y se aplasta con unos elementos cónicos.

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

Esta técnica de saneamiento o de renovación es útil para combatir la corrosión e incrustaciones en la tubería, pero el tiempo de saneamiento mediante esta técnica es corto.

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

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

#### Conexiones de la red

Para hacer las conexiones de las tuberías en los cruceros y cambios de dirección y con las válvulas de seccionamiento, se utilizarán piezas especiales, pudiendo ser de fierro fundido con brida de P.V.C.

Todas las tees, codos y tapas ciegas llevarán atraque de concreto, según normas de proyecto para obras de aprovisionamiento de agua potable.

Las válvulas de seccionamiento se localizarán en las tuberías principales o de circuito, a modo de poder derivar en un momento dado mayor caudal en un ramal determinado, cuando se trate de

surtir a un hidrante contra incendio por medio de la operación de cierre de las válvulas correspondientes o bien para cortar el flujo en caso de reparación o de ampliación de la red, conviene no tener tramos mayores de 500 metros sin servicio.

En las conexiones de las tuberías secundarias o de relleno con las principales, es conveniente, por razones expuestas, disponer de válvulas de seccionamiento. Estas podrán ser de compuerta.

Para los cruceros que tengan válvulas, se hará la elección de la caja adecuada para su operación, de acuerdo con las normas de proyecto para obras de aprovisionamiento de agua potable.

Las tuberías de cualquier material, deben quedar alojadas en zanjas para obtener la máxima protección. Sin embargo, tuberías de acero o fierro fundido se podrán instalar superficialmente garantizado su protección y seguridad. En el caso de tuberías de P.V.C. su instalación se hará siempre en zanja.

Para el proyecto de los cruzamientos con carreteras y vías de ferrocarril, se deberá tomar en cuenta las instrucciones de la circular No. 4193 de fecha de febrero de 1966, de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes.

Es importante conocer la durabilidad de las tuberías dependiendo del material usado. Un método para prevenir fugas por fatiga en tuberías viejas, es él llevar un control desde su instalación y remplazarla antes de cumplir el fin de su vida económica. Para ello nos podemos basar en la siguiente tabla 4.4-1.

**Tabla 4.4 - 1**  
**ESTIMACIONES CONFIABLES DE LA DURABILIDAD DE LAS TUBERÍAS.**

MATERIAL DE LA TUBERÍA	TIEMPO DE DURACIÓN	
Tubo de hierro colado, recubierto	100	AÑOS
Tubo de acero recubierto	25 a 50	AÑOS
Tubo de concreto reforzado	75	AÑOS
Tubo de asbesto - cemento	75 a 100	AÑOS
Tubo de duelas de madera	25 a 50	AÑOS

### Obras de regularización

- \* Tanques superficiales. Se situará en una elevación natural que se tenga en la proximidad de la zona urbana, de manera que la diferencia de nivel de piso del tanque; con respecto a los puntos más altos y por bajo por abastecer, sea de 15 a 45 metros respectivamente.

La estructuración del tanque se efectuará básicamente de acuerdo a las características del terreno. Cuando se tenga que hacer se desplante en terreno que se pueda presentar asentamientos diferenciales relativamente altos, lo indicado es emplear losa de cimentación.

- \* Tanques elevados. De preferencia conviene situarlo en una zona opuesta al punto de alimentación de la red.

La altura de la torre del tanque podrá ser de 10, 15 y 20 metros como máximo, de acuerdo con la elevación de terreno en el sitio en que se elija su construcción y las presiones que se requieran en la red.

## 5. PROGRAMA DE CONTROL DE FUGAS

El objetivo principal del Programa de Control de Fugas es reducir el nivel de fugas existentes en el sistema de distribución hasta un mínimo aceptable y mantenerlo así a largo plazo, en condiciones de viabilidad técnica, económica, financiera e institucional.

Se debe tener en cuenta que el programa debe de mejorar la relación de volumen consumido/volumen producido; atender la demanda actual no cubierta, sin incremento en la producción; garantizar el funcionamiento eficiente y eficaz del sistema de abastecimiento de agua durante la vida útil del programa; incrementar los niveles de facturación y reducir los costos de suministro.

### 5.1. COMPONENTES GENERALES

El programa de control es el instrumento de planeación que define acciones, componentes, estrategias y recursos, para reducir fugas a un nivel mínimo deseado (en algunas ciudades extranjeras se estima en 8%).

Este programa se realiza con base en el resultado del diagnóstico de la situación actual y contiene los siguientes puntos:

- \* Acciones a corto y largo plazo, para definir las acciones que son a corto plazo y las que se programan a largo plazo.
- \* Definición de los objetivos y metas especificadas, con los que se determina el alcance del programa.
- \* Elección de la estrategia y la jerarquización de los proyectos básicos, con el fin de definir prioridades, ya sea por se orden técnico lógico o por su mayor beneficio/costo.

El Programa deberá ser evaluado periódicamente, para hacer las correcciones y adaptaciones convenientes en las actividades, objetivos, estrategias, costos, etc. Esto implica un proceso dinámico en tiempo y espacio y en la medida en que se desarrolle de acuerdo con los lineamientos preestablecidos al inicio del programa, se obtendrán los resultados esperados.

Paralelamente al Programa de Control de Fugas, se atienden los trabajos de emergencia o de rutina, incluso rehabilitaciones o ampliaciones; cuando ocurra este último caso, es indispensable volver a plantear todo el esquema original.

En los incisos siguientes se describen con más detalle cada uno de los pasos a seguir en la elaboración e implantación del Programa de Control de Fugas.

#### a. Acciones a corto y largo plazo

Se determina la contribución relativa de cada componente del sistema a la ocurrencia de fugas, así como su influencia en los niveles de eficiencia del organismo operador.

Para realizar de una forma más objetiva el análisis del diagnóstico, primero se divide el resultado del diagnóstico en tres partes: 1) Las causas que son originadas por el área operacional del sistema; 2) Las que corresponden al departamento comercial y 3) las ocasionadas por la dependencia de apoyo logístico. A continuación, se enlistan las posibles soluciones para disminuir las causas que originan fugas. Finalmente, se clasifican estas soluciones a corto y largo plazo.

#### b. Objetivos y metas

El objetivo del Programa de Control de Fugas es reducir el nivel de fugas existentes en el sistema de distribución hasta un mínimo aceptable y mantenerlo así a largo, en condiciones de viabilidad técnica, económica, financiera e institucional. Para facilitar este planteamiento se hace un árbol de objetivos, de manera similar al de problemas.

El organismo operador debe fijar sus propios objetivos, los cuales tendrán que guardar compatibilidad con el árbol desarrollado en el análisis del diagnóstico.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta que este programa debe mejorar la relación de volumen consumido/ volumen producido; atender la demanda actual no cubierta, sin incremento en la producción; garantizar el funcionamiento eficiente y eficaz del sistema de abastecimiento de agua, durante la vida útil del Programa; incrementar los niveles de facturación, y reducir los costos de suministro.

#### c. Estrategia y jerarquización de proyectos

La estrategia se refiere al establecimiento claro y preciso de la forma según la cual se organizará e instrumentará el programa de control de fugas, mediante un grupo que coordine las acciones requeridas, estableciendo sus funciones básicas; por esto, se debe tener en cuenta las condiciones y conveniencias propias de la conformación institucional actual. Considerando el carácter global y multidisciplinario del control de fugas, es difícil identificar un área en el organismo operador, el cual le tocaría la responsabilidad de coordinar las acciones del programa. Entonces se crea un grupo integrado por representantes de todas las áreas, con el nivel jerárquico y calificación técnica y política, cuya tarea sea coordinar a los grupos de trabajo para la ejecución del programa de control de fugas.

Con la jerarquización se determinan las prioridades del programa de control de fugas y deben ser definidas, como en la estrategia, de acuerdo con las condiciones actuales, en particular en lo que se refiere a la naturaleza y distribución de las fugas en el sistema de distribución. Esta jerarquización se plantea de dos maneras: de acuerdo con las relaciones beneficio/costo de cada proyecto o actividad, o bien, en función del orden técnico lógico con el que se hacen.

Con lo anterior se construye una Matriz de Planificación de Proyectos, en donde se definen objetivos particulares de cada proyecto básico, con sus indicadores, los resultados que se esperan y los supuestos que deben existir, para sostener a largo plazo.

#### d. Programa, costos y soporte financiero

Después de haber definido una estrategia y haber jerarquizado los proyectos básicos, se deben establecer actividades de modo que los resultados se puedan evaluar y darles seguimiento para lograr un control en la ejecución. Por otra parte, las actividades de cada proyecto se desglosan y

distribuyen en el tiempo mediante un diagrama de barras, indicando los plazos de inicio y terminación.

## 5.2. PROGRAMA DE OBRAS

Después de haber definido los objetivos del control de fugas, se diseña una estrategia, que consiste en proponer un grupo de trabajo que se encargará de coordinar todas las actividades, políticas, normas y procedimientos del programa.

### 5.2.1. ORGANIZACIÓN DEL PERSONAL, EQUIPO, HERRAMIENTA Y MATERIAL

Las obras se deben programar de acuerdo a las características de la fuga. Esta programación contempla los siguientes puntos:

- \* Determinación previa de las características de la fuga
- \* Definir el personal, equipo, herramienta y material a emplear
- \* Definir la ruta a seguir
- \* Ubicación de la fuga en campo
- \* Eliminación de la fuga
- \* Llenado de formatos

Como ejemplo se presentan los cuadros realizados por la DGCOH para definir de manera precisa el número de personas y materiales que se requieren para eliminar fugas en tuberías de asbesto - cemento de 4" a 12" y de 14" a 18" de diámetro. (Ver anexo C, cuadros 5.2.1-1 y 5.2.1-2).

### 5.2.2. ACCIONES A SEGUIR PARA LA EJECUCIÓN DE LA OBRA

#### a) Traslado a la zona de maniobras

El traslado se realiza inmediatamente después de haber programado los trabajos.

#### b) Colocación de señalamientos y barreras de protección

Los señalamientos y barreras de protección servirán para delimitar la zona de trabajo, evitando algún percance e interrumpir al mínimo el tránsito vehicular y peatonal.

Deberán colocarse y mantenerse durante el proceso, avisos de reparación, linternas rojas, intermitentes o antorchas, así como los veladores o bandereros necesarios.

Si el trabajo se realiza en vialidades con tránsito intenso, se requerirá de un vehículo con torreta de luces intermitentes. Con el fin de evitar accidentes, el material producto de la excavación, equipo y todo aquellos que obstruya el tránsito, deberá colocarse donde no cauce molestias y señalarlo por medio de barreras, transiconos y avisos. Se deberá de notificar a la Delegación Política correspondiente el retiro del material sobrante.

c) Cierre de válvulas e instalaciones eléctricas

El movimiento de válvulas será efectuado por personal de la Dirección de obras hidráulicas de cada localidad. Para verificar la ubicación de las cajas, así como el tipo y número de válvulas que se deberán cerrarse, se revisará el plano de la zona que contenga dicha información.

En paralelo, se realizará la instalación eléctrica para la operación de bombas, trabajos de soldadura y colocación de alumbrado cuando se requiera.

d) Corte y remoción de pavimentos

El corte del pavimento se realizará con martillo neumático, pico, barreta y palas. En vialidades importantes es común encontrar capas de gran espesor en el pavimento o pavimento a base de concreto armado, en este caso, el corte debe realizarse de tal forma que se dejen libres de 15 a 20 cm del acero de refuerzo en todo el perímetro de la cepa. Este acero servirá para obtener una buena liga y proporcionar apoyo al armado del nuevo pavimento. Para este caso se empleará martillo neumático y disco.

e) Excavación

La excavación se realizará a mano con precaución, de tal forma que no se dañen las estructuras contiguas o la misma tubería donde se localiza la fuga.

Las dimensiones y forma de la cepa dependerán del espacio requerido para maniobrar en la zona y de las características del terreno. Tomando en cuenta que deben aumentarse de 30 a 40 cm más de ancho y de 15 a 20 cm de profundidad abajo del tubo. Se procurará que los taludes del corte se aproximen a la vertical, hasta donde las condiciones de seguridad lo permitan.

f) Achique

El achique, consiste en desalojar el agua, hasta dejar un tirante que permita llevar a cabo los trabajos de reparación. Se recomienda utilizar bombas de gasolina o eléctricas, con manguera de succión y descarga o en su defecto, si el gasto es muy pequeño se emplearan botes de plástico.

El agua desalojada se deberá conducir o depositar hasta las coladeras de piso o banqueta más cercanas al lugar, para evitar daño a la carpeta asfáltica o problemas al flujo vehicular y peatonal.

g) Identificación y comportamiento del elemento dañado

Una vez que se detecta el elemento dañado, se remplazará al momento, si no se realizará un pedido al almacén de la Dirección de obras de la localidad. Después de terminar los trabajos de reparación, se abrirán las válvulas verificando que no exista fuga alguna. Esta prueba no debe de ser menor a 30 minutos.

## h) Relleno

El relleno y compactación se realizará en dos etapas, comenzando con el "encamado" y "acostillado", que consiste en proporcionar el apoyo adecuado y continuo al tubo. Deberá usarse material seleccionado (con capas sucesivas de 10 cm), compactándose con equipo neumático (bailarina) y pisonos de costilla. En la segunda etapa se efectuará el relleno hasta completar el enrase de la zanja, en capas de 30 cm y con la humedad necesaria. También se utilizará bailarina y pison de piso.

## i) Acarreo de material sobrante

El material sobrante producto de la excavación y relleno, deberá ser removido del lugar, a fin de que quede completamente limpio.

## j) Reposición de pavimento

La reposición del pavimento estará a cargo de la Dirección de obras en cuestión.

En la tabla 5.2.2-1 se muestran los requisitos para el control de fugas en un sistema de agua potable.

**Tabla 5.2.2 - 1**  
**REQUISITOS PARA EL CONTROL DE FUGAS**

TITULO DE PROYECTO	PRE-REQUISITOS A LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	PERDIDAS FACTIBLES DE SER REDUCIDAS	RESULTADOS ESPERADOS
SUBPROGRAMA DE OPERACIÓN DE SERVICIO: CATASTRO TÉCNICO DE LAS INSTALACIONES	-Ninguno	-Fugas -Derrames -Consumos excesivos de proceso -Consumos clandestinos	-Mejores del suministro de agua -Satisfacción del usuario -Mejoras del nivel de servicios
CATASTRO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN	-Planos plani-altimétricos o planimétricos actualizados	-Fugas -Consumos excesivos de proceso -Consumos clandestinos	-Mejoras del suministro de agua -Mejores del nivel de servicios -Satisfacción del usuario
PITOMETRIA	-Catastro de las tuberías (línea de conducción) donde serán instalados los macromedidores de caudal para fines de diseño de los mismos, para medición del sistema productor. -Catastro técnico de instalaciones para fines de diagnóstico y optimización operacional de las unidades del sistema de agua potable	-Errores de macromedición -Errores de micromedición de los grandes consumidores -Consumos clandestinos	-Control operacional más efectivo -Rentabilidad -Satisfacción del usuario
MACROMEDICION	a) De Caudal -Pitometria y catastro de tuberías para los casos de medición del sistema productor -Pitometria y catastro de tuberías para los casos de medición del sistema distribuidor b) De Presión -Catastro de red de instalaciones -Catastro de red de distribución para la	-Errores de estimación de volúmenes suministrados -Consumos excesivos de proceso -Consumos clandestinos -Derrames -Derrames	-Control operacional más efectivo -Rentabilidad -Satisfacción del usuario

TITULO DE PROYECTO	PRE-REQUISITOS A LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	PERDIDAS FACTIBLES DE SER REDUCIDAS	RESULTADOS ESPERADOS
	<p>medición en las redes</p> <p>c) De Nivel</p> <p>-Catastro técnico de instalaciones</p>	-Consumo excesivo de proceso	
CONTROL DE LA OPERACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA	<p>-Catastro técnico de instalaciones</p> <p>-Catastro de la red de distribución</p> <p>-Pitometría. Para estudios de comportamiento de redes y determinación de curvas características de conjuntos de motobombas y evaluación de comportamiento de estaciones de bombeo</p> <p>-Macromedición. Para la determinación de los volúmenes y caudales en diversos puntos de la red</p>	<p>-Fugas</p> <p>-Derrames</p> <p>-Consumos excesivo de proceso</p>	<p>-Mejoras de suministro de agua</p> <p>-Mejoras del nivel de servicios</p> <p>-Satisfacción del nivel de servicios</p> <p>-Rentabilidad</p>
CONTROL DE FUGAS Y MANTENIMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN Y DE TOMAS DOMICILIARES	<p>-Control de la operación del Sistema de Agua</p> <p>-Catastro de Red de distribución para fines de detección de fugas de redes</p> <p>-Catastro técnico de instalaciones para fines de eliminación de fugas en las demás unidades operacionales</p> <p>-Padrón de usuarios</p> <p>-Pitometría como auxiliar en los trabajos de identificación de áreas críticas y evaluación de resultados de detección y reparación de fugas</p> <p>-Los trabajos de identificación de áreas críticas puedan prescindir de la Pitometría en caso de que se tenga urgencia extrema</p> <p>-Macromedición principalmente del sistema distribuidor, como auxiliar en los trabajos de identificación de áreas críticas y evaluación de resultados de detección y reparación de fugas. Los trabajos de identificación de áreas críticas pueden prescindir de la macromedición en caso de que se tenga urgencia extrema.</p> <p>Observación: La adecuación de las redes primarias y secundarias previamente a los trabajos de detección y reparación de fugas implantándose zonas de presión, sectores de suministro (circuitos) y subcircuitos.</p>	<p>-Fugas</p> <p>-Consumos excesivos de proceso</p> <p>-Consumos extraordinarios</p>	<p>-Mejoras del suministro de agua</p> <p>-Satisfacción del usuario</p> <p>-Mejoras del servicio</p> <p>-Rentabilidad</p> <p>-Productividad</p>
MANTENIMIENTO DE UNIDADES OPERACIONALES	<p>-Control de la operación del sistema de agua</p> <p>-Catastro técnico de instalaciones</p>	<p>-Fugas</p> <p>-Derrames</p>	<p>-Mejoras de suministro de agua</p> <p>-Satisfacción del usuario</p> <p>-Mejoras del nivel de servicios</p> <p>-Rentabilidad</p> <p>-Productividad</p>
MANTENIMIENTO ELECTROMECÁNICO	<p>-Control de la operación del sistema de agua</p> <p>-Catastro técnico de instalaciones</p>	<p>-Derrames</p> <p>-Fugas</p> <p>-Errores de micromedición</p> <p>-Errores de estimación de consumos no medidos</p>	<p>-Mejoras del suministro de agua</p> <p>-Mejoras del nivel de servicios</p> <p>-Rentabilidad</p> <p>-Productividad</p>
REVISIÓN DE CRITERIOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	-Implementación después de la obtención de resultados de algunos de los proyectos para permitir la evaluación más racional de los criterios de diseño y construcción	<p>-Fugas</p> <p>-Derrames</p> <p>-Consumos excesivos de proceso</p>	<p>-Mejoras del suministro de agua</p> <p>-Mejoras del nivel de servicios</p> <p>-Satisfacción del usuario</p>

TITULO DE PROYECTO	PRE-REQUISITOS A LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	PERDIDAS FACTIBLES DE SER REDUCIDAS	RESULTADOS ESPERADOS
		-Errores de macromedición -Errores de estimación de consumos no cedidos -Desperdicios	-Rentabilidad
SUBPROGRAMA DE CONTROL DE USUARIOS PADRÓN DE USUARIOS	-Control de la operación del sistema de agua  -Pitometría y macromedición para fines de evaluación de resultados del presente proyecto  -Catastro de la Red de Distribución como auxiliar en la implementación del presente proyecto	-Desperdicios -Consumos gratuitos -Consumos clandestinos -Errores de macromedición -Errores de estimación de consumos no medidos	-Mejoras del suministro de agua -Mejoras del nivel de servicios -Rentabilidad -Satisfacción del usuario
TARIFAS	-Ninguno  Observación: Las acciones en este proyecto se deberán concentrar a nivel de organismo operador, a la adecuación de la estructura tarifaria vigente.  Las acciones relacionadas con la revisión y adecuación del sistema tarifario nacional serán desarrolladas a nivel central.	-Desperdicios	-Mejoras del suministro de agua
DESARROLLO DE LOS RECURSOS HUMANOS	-Censo de personal  -Definición de funciones y responsabilidades de cada una de las áreas del organismo  Observaciones: Las acciones realizadas en este proyecto tendrán como objetivo implantar cada uno de los subsistemas que conforman el Sistema de Desarrollo de los Recursos Humanos	-Todo tipo de pérdidas	-Mejoras de la eficiencia general del organismo -Satisfacción del usuario -Mejor imagen del organismo
CONTROL DE SUMINISTRO Y DE LA CALIDAD DE MATERIALES Y EQUIPOS	-Implementación después de la obtención de resultados de algunos de los proyectos para permitir la evaluación más racional de los criterios actuales de diseño y construcción	-Fugas -Derrames -Consumos excesivos de proceso -Consumos extraordinarios -Errores de micromedición -Errores de macromedición -Desperdicios	-Mejoras del suministro de agua -Mejoras del nivel de servicios -Satisfacción del usuario -Rentabilidad
CONTABILIDAD Y ADMINISTRACIÓN FINANCIERA	-Proyectos de expansión y mejoramiento del organismo  Observaciones: Para un mejor desarrollo del proyecto y la consecuente obtención de buenos resultados se requiere de la implantación de todos los subprogramas	-Ninguno	-Mejora de la eficiencia del organismo -Establecer bases concretas para la implementación de un sistema tarifario -Mejor rentabilidad Posibilidad de autonomía financiera
COMUNICACIÓN Y TRANSPORTE	-Ninguno	-Fugas -Derrames	-Mejoras en el suministro del agua -Control operacional más efectivo -Satisfacción del usuario -Rentabilidad -Mejor imagen del organismo
DETERMINACIÓN DE CONSUMOS	-Control de la operación del sistema de agua  -Padrón de usuario  -Pitometría y macromedición para fines	-Errores de micromedición -Errores de estimación de consumos no medidos -Desperdicios	-Mejoras del suministro de agua -Mejoras del nivel de servicios -Satisfacción del usuario

TITULO DE PROYECTO	PRE-REQUISITOS A LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	PERDIDAS FACTIBLES DE SER REDUCIDAS	RESULTADOS ESPERADOS
	de evaluación de los resultados del presente proyecto		-Rentabilidad
SISTEMA INTEGRADO DE INFORMACIONES	-Ninguno	-Fugas y derrames por tiempo menor de detección -Pérdidas comerciales por actualización dinámica de la información -Desperdicios por aportar elementos que fundamenten las campañas de formación e información	-Toma de decisiones acertadas y oportunas en construcción, operación y mantenimiento -Mayor coordinación entre las áreas de la empresa -Reducción de costos -Mayor confiabilidad del servicio -Mejor imagen Institucional Interna y externamente
COMUNICACIÓN SOCIAL	-Mejorar la imagen del organismo operador a través de la implementación de los subprogramas de Operación del Servicio y Control de Usuarios	-Desperdicios para las acciones orientadas al ambiente externo -Todos los demás tipos de pérdidas para las acciones orientadas al ambiente interno	-Mejoras del suministro de agua -satisfacción del usuario -Mejoras del nivel de servicios -Rentabilidad
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO	-Ninguno  Observaciones: las acciones relacionadas con este proyecto serán desarrolladas a nivel nacional para que se evite duplicidad de recursos y esfuerzos	-Todos los tipos de pérdidas	-Mejoras del suministro de agua -Mejoras del nivel de servicios -Satisfacción del usuario -Rentabilidad -Productividad

### 5.3. PROGRAMA DE INVERSIONES

Después de haber definido una estrategia y de haber jerarquizado los proyectos básicos, se debe establecer actividades de modo que los resultados se puedan evaluar y darles seguimiento para lograr un control en la ejecución. Por otra parte, las actividades de cada proyecto se desglosan y distribuyen en el tiempo mediante un diagrama de barras, indicando los plazos de inicio y terminación.

Para cada uno de los proyectos básicos, el grupo coordinador debe estimar los costos de cada actividad considerada y presentarlos a la dirección del organismo operador para que sean considerados dentro de la programación de inversiones anuales, distribuidos por fuente de recursos (propios y/o externos), en el período de ejecución.

El programa de control de fugas queda terminado con el cálculo de cantidades y costos de las actividades individuales, con su calendarización y su presupuesto. Asimismo, deben recomendarse los procesos posibles de financiamiento y dejarlos escritos en el informe final del programa.

Se recomienda el siguiente procedimiento:

- Se determinan las cantidades de bienes y equipos, financiamiento y personal requerido para ejecutar las actividades individuales.
- Los recursos humanos se expresan en meses - hombre, en forma separada, por actividad individual.

- c) Los bienes y equipos se anotan en primer lugar y se asignan a cada actividad.
- d) Después de haber hecho una estimación preliminar, mencionando los insumos previstos en forma general, se revisa el concepto del proyecto:
  - \* Se especifican los recursos necesarios para los resultados individuales.
  - \* Se discute, desde el punto de vista de los beneficios y costos, la escala de prioridad para cada resultado y la contribución aportada para alcanzar el objetivo del proyecto.
  - \* Se estima posibles insumos adicionales requeridos en base a un análisis de riesgos.

Finalmente, el programa de control de fugas debe quedar escrito en un documento que será conformado con todos los detalles elaborados en cada etapa.

## 5.4. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

### 5.4.1. MANTENIMIENTO DE UNIDADES OPERACIONALES

Es el conjunto de actividades encaminadas a la prevención de fallas o a la rehabilitación de unidades operacionales, con el fin de asegurar un funcionamiento adecuado y minimizar las pérdidas de eficiencia.

El mantenimiento a plantas potabilizadoras, captaciones, líneas de conducción y tanques, es un soporte básico para una operación adecuada del sistema de abastecimiento de agua potable. En el almacén se debe de contar con:

Tuberías de diámetros compatibles con los de la red  
Piezas complementarias (especiales)  
Bridas  
Dispositivos para limpieza de la red  
Válvulas de diferentes medidas y piezas de las mismas  
Materiales de construcción y de herrería  
Bombas para desalojar agua del lugar de trabajo  
Pintura para recubrimiento  
Dispositivos para aplicar recubrimientos

El mantenimiento electromecánico es muy importante y se define como el conjunto de acciones que permite la formulación y ejecución de un programa de mantenimiento preventivo que garantice el funcionamiento eficiente de las instalaciones electromecánicas. Debe establecer la fecha y lugar, equipo, acción de mantenimiento requerida y generar la información necesaria para evaluar la calidad y confiabilidad de las instalaciones facilitando así la toma de decisiones en la operación.

### 5.4.2. TÉCNICAS DE REPARACIÓN Y SUSTITUCIÓN DE TUBERÍAS PRINCIPALES

Los métodos de reparación y rehabilitación en tuberías son:

- a. Recubrimiento de tuberías
  - \* Con morteros, resinas epóxicas, etc.

\* Con películas

Recubrimiento con mortero (ver figura 5.4.2 - 1)

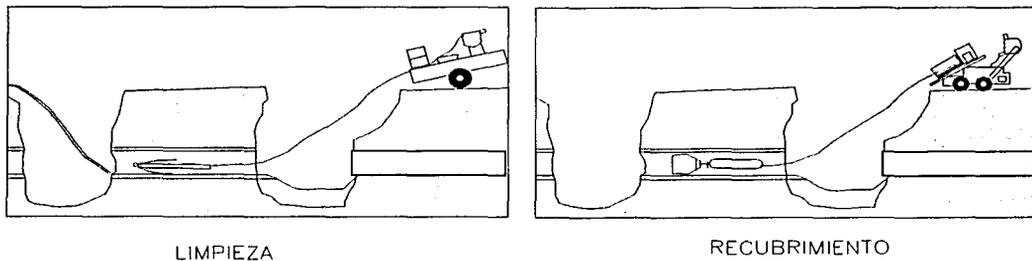
ventajas:

- \* Excavación mínima (cada 100 m)
- \* Bajo costo (25 a 40% del reemplazo)
- \* Sin limitaciones de diámetro

desventajas:

- \* No agrega capacidad estructural
- \* Riesgo de fisuras en las juntas
- \* Elevación del Ph momentáneamente

**Figura 5.4.2 - 1**  
**RECUBRIMIENTO CON MORTERO**



Recubrimiento con mortero epóxico o resinas epóxicas

ventajas:

- \* Excavación mínima (cada 100 m)
- \* Bajo costo (un poco mayor que el mortero)
- \* Disminuye la rugosidad hidráulica

desventajas:

- \* No agrega capacidad estructural
- \* Podría ver problemas de toxicidad
- \* Requiere un alto control de calidad

b. Sustitución de tuberías (ver figura 5.4.2 - 2)

La sustitución se realiza mediante percusión. Se cambian tubos del mismo tamaño.

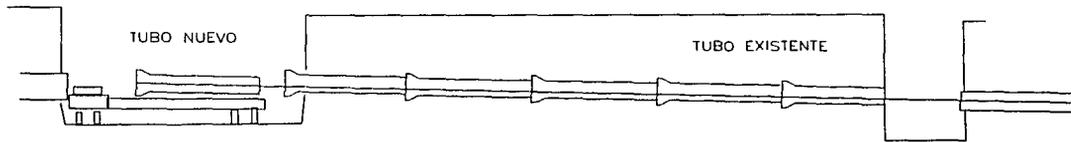
ventajas:

- \* Recubrimiento sano
- \* Menor costo que el reemplazo
- \* Mínima excavación

desventajas:

- \* Limitaciones de diámetros
- \* Limitaciones de materiales

**Figura 5.4.2 - 2**  
**SUSTITUCIÓN DE TUBERÍA**



### c. Inserción de tuberías

La inserción consiste en introducir una tubería nueva dentro de la existente.

#### ventajas:

- \* Mínima excavación
- \* No tiene problema de junteo
- \* Mas económico que el reemplazo
- \* Período de vida útil grande

#### desventajas:

- \* Puede haber reducción de la capacidad hidráulica
- \* Limitaciones por diámetro

## 5.5. EVALUACIÓN DEL PROGRAMA

La evaluación del programa de control de fugas se establece en función de los resultados de fuga registrados con la medición de fugas no visibles, complementando son los reportes de fuga que registra el propio organismo operador, con el afán de encontrar mecanismos que permitan optimizar el aprovechamiento del agua producida.

Las acciones por implementar en aspectos de fuga deberán estar encaminadas a la verificación de los macromedidores, para lo cual deberá implementarse como primera acción la revisión de los dispositivos e identificar la confiabilidad de la información. El deterioro detectado deberá ser corregido para incrementar la confiabilidad del dispositivo. La intensidad de este proceso deberá estar asociada al factor de falla detectado, correlacionando siempre contra la medición realizada y corrigiendo el factor de pérdida obtenido en este estudio.

Las fugas más significativas se presentaron en tomas domiciliarias, con fugas que aunque no son visibles se permiten encontrar manifestaciones de fuga probable, para lo cual deberá capacitarse a los lecturistas en la identificación de estas manifestaciones y con apoyo de las brigadas de reparación de fugas proceder a su identificación y reparación. Como primera acción deberá corregirse las fugas identificadas en el estudio que a la fecha no hayan sido reparadas.

Respecto a las fugas en la red de distribución, su incidencia es muy baja y generalmente son atendidas de inmediato, por lo que en este aspecto deberá reforzarse las acciones de concientización de la población y atención al público así, deberá implementar en este aspecto un mayor

seguimiento de las fugas reportadas para disponer de un registro ágil de las mismas que permitan establecer factores de fuga probable.

Algunas de las acciones consideradas dentro de la sectorización inciden en la probabilidad de fuga, asociado a sobrepresión en tomas y red de distribución y falta de abasto en horas pico que provocan aire dentro de parte de la red lo que se traduce con el tiempo en zona de debilidad y con ello de fuga. Para lo anterior se proponen acciones de sectorización en base al programa anexo, el cual tiene como base al atender a corto plazo aquellas acciones de menor inversión y mayor beneficio, como son las acciones de implementar zonas de servicio con menores sobrepresiones, continuando con las acciones de mayor inversión asociadas a crecimiento o densificación de la zona urbana actual.

Otras acciones que deberá emprender el organismo operador serán las referentes a rehabilitar los tanques de regularización, empezando con aquellos que presentan daño importante y por aquellos que requieren mínima inversión o simplemente programar acciones de mantenimiento correctivo y/o preventivo. La evaluación de acciones estará definido por una evaluación previa y la determinación de las acciones necesarias, pero deberá atenderse a la brevedad para evitar que el deterioro incipiente aumente y ponga en riesgo a la estructura.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Enseguida se presentan las conclusiones y recomendaciones que se consideran más relevantes del presente trabajo.

### 6.1. CONCLUSIONES

De acuerdo a los datos de INEGI, en el país se tiene actualmente una cobertura de abastecimiento de agua de 87% en promedio, sin embargo en realidad el volumen destinado a las poblaciones se reduce debido a las fugas que ocurren en todo el sistema de abastecimiento.

Con lo que respecta a los datos nacionales de fugas, son pocas las estadísticas que se tienen de éstos.

Los defectos que comúnmente se presentan en las redes de agua potable, son ranuras horizontales y verticales en tubos, válvulas, coples, juntas gibault, juntas dresser, así como daños a los anillos de sellado.

En el Valle de México, la explotación de los acuíferos ha provocado abatimientos piezométricos de consideración, los que se traducen en consolidaciones de los mantos superiores de arcilla y originan hundimientos, que afectan a las tuberías.

Dadas las condiciones topográficas y operativas, un mal manipuleo en las válvulas o en el arranque o paro del rebombeo, originan una variación adicional de presiones, provocando en ocasiones dislocamientos y rupturas en las redes.

Para reducir el índice de fugas, es necesaria una adecuada realización de los proyectos ejecutivos, así como también una supervisión desde el momento de la adquisición, transporte, almacenamiento, instalación y rehabilitación de tuberías y accesorios complementarios de las redes

La detección de fugas permite establecer una estructura adecuada dentro de un organismo operador.

Los métodos de detección de fugas no son generales esto es, al existir una posible fuga no se podrá aplicar cualquier método, ya que hay unos que son económicos, como la simple observación directa y otros muy costosos por lo sofisticado de los aparatos y lo especializado de los operadores.

La medición de los consumos tiene como objeto asegurar que los consumos sean racionales y para mantener un equilibrio adecuado entre la producción y la demanda de agua.

La escasez de control y conocimiento de los volúmenes suministrados, es reflejo de la poca importancia que se le da al proceso de medición del agua en un buen número de organismos operadores.

La falta de control del agua ocasiona además que se sobre exploten las fuentes de abastecimiento para satisfacer la demanda real o ficticia de un centro de población. Esta acción propicia el abastecimiento de los niveles de los mantos acuíferos y como consecuencia lógica, se produce una disminución en su gasto, lo cual provoca en fin de su vida productiva.

Se requiere contar con organismos operadores autosuficientes desde el punto de vista técnico y económico que presenten continuidad en sus programas de trabajo.

Se requiere de una sociedad convencida de la importancia de su papel en el buen uso y preservación del agua y del pago de los servicios.

Se necesitan de programas agresivos de incremento de las coberturas en el medio rural mediante la participación activa de los usuarios en la operación y mantenimiento de la infraestructura con el apoyo directo en su construcción e incluso mantenimiento mediante subsidios federales y estatales.

Es necesaria una autoridad federal reconocida por su excelencia técnica encargada de continuar la administración de los recursos hidráulicos del país buscando siempre la participación de los usuarios en el manejo del recurso y el equilibrio y preservación de las cuencas en términos de cantidad y calidad.

Se requieren mecanismos que aseguren la canalización especializada de los recursos económicos y humanos que demanda el sector para su desarrollo.

## 6.2. RECOMENDACIONES

Emplear planos con información de redes y guía roji (actualizados) para ubicar las fugas por reparar.

Investigar la causa (s) de la fuga, antes de iniciar la reparación.

Se deben usar los accesorios de protección.

Evitar dañar otras instalaciones subterráneas (como teléfonos, gas, drenaje, etc.). Para protegerlas, se recomienda emplear ademes de madera, acero y concreto.

El reemplazo de las piezas, se hará con piezas de máxima calidad.

Colocar señalamientos en las calles y avenidas. Ya sea para desviar el tránsito o cerrar algún carril o calle.

En caso de cerrar válvulas para trabajar sin presión, es conveniente desfogar la tubería antes de iniciar la reparación.

Si se tiene que reparar la fuga en presencia de agua, es conveniente considerar los siguientes aspectos:

El agua debe ser conducida hacia alguna alcantarilla cercana

Si es necesario construir un "by pass" para que el agua siga fluyendo en la red y no se suspenda el suministro del servicio.

Para el relleno y compactación, deberá usarse material seleccionado (como tepetate, en capas sucesivas de 10 cm), compactándose con equipo neumático (bailarina) y pisonos de costilla.

Después de terminar los trabajos de reparación, se abrirán las válvulas verificando que no exista ninguna fuga; esta prueba debe durar alrededor de 30 minutos.

La superficie debe quedar bien compactada y lisa. En caso de llevar pavimentación, esta la realizará la Delegación correspondiente.

Se deben verificar periódicamente las condiciones de cada herramienta y si es necesario reemplazarla.

Es necesario colocar protección anticorrosiva a las tuberías y accesorios metálicos que se alojen en zonas con alta concentración de sales y presencia del nivel freático.

Es importante saber que el golpe de ariete (efecto de sobrepresión), no se elimina en su totalidad, solo se puede reducir usando válvulas reductoras de presión, cámaras de aire, torres de oscilación y atraques en cambios de dirección.

Es muy factible que se prevengan fugas utilizando mano de obra calificada ya que se estará garantizando una mejor instalación del sistema.

Es necesaria la realización de estudios más detallados con respecto al control de fugas, para la disminución de las mismas.

Se recomienda que las instituciones relacionadas con el agua potable realicen manuales y recomendaciones para un equipamiento adecuado y para la adquisición e instalación correctas.

Es fundamental la aplicación de tarifas bien diseñadas y un proceso eficaz y eficiente de medición, tanto en fuentes de abastecimiento como en tomas domiciliarias.

Que el gobierno haga conciencia por los medios de difusión, centros de trabajo y centros de estudio de la problemática que representa el desperdicio del agua.

Que las secretarías relacionadas con la planeación, construcción, mantenimiento y operación, promuevan programas, por lo menos una vez al año, de detección de fugas.

Que se promuevan congresos y cursos en todas las universidades y organismos gubernamentales relacionados con la ingeniería sanitaria.

Que se implementen cursos de capacitación al personal que se dedica a las instalaciones hidráulicas.

Que el servicio de agua potable tenga una tarifa real para poder tener ampliaciones, así como mejorar el mantenimiento y operación, de los sistemas de abastecimiento de agua potable.

Dado el avance científico, técnico y tecnológico de los países desarrollados es necesario que el ingeniero se preocupe en actualizar sus conocimientos.

Que se prevengan las fugas dentro de la medida de las posibilidades, utilizando materiales de buena calidad, mano de obra calificada y una supervisión eficiente.

## BIBLIOGRAFÍA

ALDAMA Rodríguez, Álvaro A. y Luis Gómez *Fortalecimiento de la Capacidad Institucional del Sector Agua en México mediante la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Formación de Recursos Humanos*. IMTA. Jiutepec, Morelos, México, 1996, 20pp.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, *Water Main for Rehabilitation, Replacement*, AWWA, Estados Unidos, 1986.

ARREGUÍN C. F., *Control de Fugas en sistemas de Agua Potable*, memorias del seminario "Incremento de la eficiencia de la prestación de servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento" SGIHUI, CNA, México 1993.

CEPIS, *Manual sobre Control de Fugas y Mediciones en Redes de Distribución de Agua Potable*, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, CNA, documentos para divulgación, Jiutepec, Morelos, México 1993.

DE LA VEGA, H. y Espinosa, J., *Correlación, la Alternativa Tecnológica en Detección de Fugas*", *Memorias del Seminario Internacional sobre Uso Eficiente del Agua*, México, D. F., México, Octubre de 1991.

ECHAVEZ, G., *Fugas en Redes de Agua Potable*, *Memoria del Seminario Internacional de Uso Eficiente del Agua*, México, D. F., México, Octubre de 1991.

GARDUÑO, Héctor Y Felipe Arreguín - Cortés (Compiladores) *Seminario Internacional sobre Uso Eficiente del Agua*, UNESCO-ORCYT, IMTA-CNA, México 1994, 104 pp.

GRISHAM, A. y Flemming, W., *Long Term Options for Municipal Water Conservation*, Journal of the American Water Works Association, Estados Unidos, Marzo de 1989.

IMTA, *Manual para la Organización de la Macromedición*, serie Didáctica 8, Noviembre de 1989, Cuernavaca, Morelos, México.

MALDONADO, S. J. y Ochoa A. L., *Estadísticas de Fugas en Tomas Domiciliarias*, Memorias del XXIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, La Habana, Cuba, Noviembre de 1992, pag. 82-92.

OCHOA A. L., Enríquez Z. S., Camacho, C. A., Maldonado, S. J., *Detección y Control de Fugas e Impacto de Macromedición en Guaymas, Sonora*, informe final, IMTA, México 1990.

OCHOA A. L., Enríquez Z. S., Camacho, C. A., Maldonado, S. J., *Recomendaciones para selección de equipos detectores*, informe final, IMTA, México 1990.

OCHOA, L. y Arreguín, F., *Métodos Para Evaluar Pérdidas de Agua en Redes de Distribución de Agua Potable*, Memorias del Seminario Internacional de Uso Eficiente del Agua, México, D. F., México, Octubre de 1991.

PLANELLIS, V. F.; González, A. A. y López, V. V.; SANZ, T. F. y García-Serra, G. J., *Diagnóstico de la Gestión Óptima de Contadores en un Sistema de Distribución de Agua*, Tecnología del Agua, España, 1987.

# ANEXO

## ANEXO A

### 3.1. FORMATOS REGISTRO DE REPORTES

#### 3.1-1 Información General

##### \* Localidad

##### Identificación

ESTADO:

ORGANISMO OPERADOR (T):

MUNICIPIO:

SIGLAS:

T = tipo: 1) Federal, 2) Regional, 3) Estatal, 4) Intermunicipal, 5) Municipal

##### Ubicación Geográfica

UBICACIÓN			COLINDANCIA			
LATITUD	LONGITUD	ALT. MEDIA	NORTE	SUR	ESTE	OESTE

##### Clima (valores promedio)

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	N	E	A	B	A	U	U	G	E	C	O	I
	E	B	R	R	Y	N	L	O	P	T	V	C
TEMPERATURA (°C)												
PRECIPITACION (mm)												

##### Vías de comunicación

AEREA :

TERRESTRE :

FERROCARRILES :

MARITIMA :

**Principales actividades económicas**

ACTIVIDAD	POBLACION (%)
AGROPECUARIA	
COMERCIO Y SERVICIO	
INDUSTRIA	
OTROS	
TOTAL	100

**Población Censal**

AÑO	POBLACION	TASA %
1960		
1970		
1980		
1990		
2000		

\* **Población de la Localidad**

Número total de habitantes

AÑO DEL CENSO	POBLACION TOTAL	TASA DE CRECIMIENTO	PROM. DE Hab/vivienda
1980			
1990			
2000			
2010			

Número total de habitantes abastecidos con agua potable

No. De Hab.	CON MEDIDOR	SIN MEDIDOR

**Consumos**

COBRO CON CUOTA FIJA	SERVICIO MEDIDO POR RANGO DE CONSUMO

• **El Organismo Operador**

Nombre y Siglas:

Status Jurídico

ORGANISMO PUBLICO	
DESCENTRALIZADO	
CENTRALIZADO	
OTROS	

Ambito Geográfico

AMBITO GEOGRAFICO	
MUNICIPAL	
MUNICIPAL Y AREAS CONURBADAS	
ESTATAL	

Servicios Ofrecidos

AGUA POTABLE	
ALCANTARILLADO SANITARIO	
ALCANTARILLADO PLUVIAL	
OTROS	

Medios de Comunicación

TELEFONO	
TELEX	
RADIO	
TELECOPIA	
OTROS	

Vehículos Disponibles

TIPO	No.

Control de Vehículos Existentes

MANTENIMIENTO MECANICO	
COSTOS DE MANTENIMIENTO	
COSTOS DE OPERACION	
OTROS	

Perspectivas de Crecimiento

AÑO	USUARIOS (No)

Población

POBLACION	No. De Hab.
POBLACION TOTAL ACTUAL	
POBLACION ECONOMICAMENTE ACTIVA	
POBLACION FLOTANTE	

### 3.1-2 Catastro de la Red

#### Fuentes de Abastecimiento Principales de la Red

TIPO	NUMERO DE UNIDADES	CAUDALES (l/s)			EXTRACCION PROMEDIO MENSUAL (m³)	OBSERVACIONES
		MIN	MED	MAX		
TOTAL ANUAL						

TIPOS: L = lagos, P = presas, R = ríos, PZ = pozos, G = galería filtrante, M = manantiales, O = otros.

#### Tanques de Almacenamiento (tanques de regularización)

TIPO	NUMERO DE UNIDADES	MATERIAL	CAPACIDAD (m³)	EDAD (años)	OBSERVACIONES
TOTAL					

TIPO DE TANQUE: EL = elevado, SUB = subterráneo, M = mampostería, C = concreto, A = acero, O = otros.

TIPO	UBICACION	NUMERO	PERIODO DE LECTURA	PERIODO DE CALIBRACION	PERIODO DE MANTENIMIENTO
TOTAL					

UBICACION: FTES = en fuentes, COND = en conducción, REG = en regularización, ENT = en puntos de entrega.

### Red de Distribución

DIAMETRO	MATERIALES						EDAD	ESTADO ACTUAL			TOTAL
	FoFo	FoGo	AC	PVC	Pb	OTRO		B	R	M	

MATERIALES: FoFo = hierro fundido, FoGo = hierro Galvanizado, AC = acero, Pb = plomo, PVC = poliducto

ESTADO ACTUAL: B = bueno, M = malo, R = regular.

### Válvulas y Dispositivos de Protección en la Red

FUNCION	CANTIDAD	ESTADO ACTUAL (%)			ENTERRADAS (S/N)	AZOLVADA (%)
		BUENO	REGULAR	MALO		
SECCIONAMIENTO						
RETENCION						
PURGA						
ALIVIO						
ADMISION Y EXPULSION DE AIRE						
OTRAS						

### Dispositivos de Protección de las Líneas

TIPO	NOMBRE	VOLUMEN (m³)	EDAD (años)	ESTADO DE DETERIORO (%)

TIPO: CO = Cámara de oscilación, TU = tanque unidireccional, O = otros.

### Dispositivos Reguladores de Presión

TIPO	CANTIDAD EN FUNCIONAMIENTO	
	SI	NO
VALVULA REDUCTORA DE PRESION		
CAJA ROMPEDORA DE PRESION		
OTRO		
TOTAL		

### 3.1-3 Padrón de Usuarios

#### Datos Generales

NOMBRE:	DIRECCION:
CLASE SOCIOECONOMICA:	No. DE CUENTA:
UBICACIÓN DE LA CONEXIÓN:	SECTOR:
	RUTA DE LECTURA:

CLASE SOCIOECONÓMICA: alta, media, baja, media-alta, media-baja

#### Tipos de Consumidor

TIPO DE CONEXION	CANTIDAD (%)	DIRECCION DE LAS CONEXIONES
DOMESTICO		
PUBLICO		
COMERCIAL		
INDUSTRIAL		
OTRO		

### Numero de Tomas Domiciliarias

SECTOR	No. DE TOMAS	No. DE MEDIDORES
1		
2		
3		
4		
5		
6		
TOTAL		

### Consumos

CONSUMO FACTURADO		
MICROMEDIDOR	No. DE SERIE	
	RANGO DE FUNCIONAMIENTO (%)	

CONSUMO FACTURADO: mensual, bimestral, trimestral, semestral, anual, otro.

### 3.1-1 Estadísticas de Fugas

#### Operación de la Red

DISTRIBUCIONES EN LA RED		ZONAS Y HORARIOS DE TANDEOS		
SECTOR	PRESION	ZONAS	HORARIOS	
			SI	NO

**Funcionamiento de la Red**

PUNTOS DE ENTREGA	
DIRECCIONES DEL FLUJO	
PUNTOS MUERTOS	
VALVULAS INOPERANTES	ENTERRADAS:
	ROTAS:

**Programas Existentes**

PROGRAMAS	DESCRIPCION
MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
MANTENIMIENTO CORRECTIVO	
EMERGENCIAS	
AMPLIACION DE LA RED	

**Discontinuidades en la Red**

LUGAR	DESCRIPCION

**Mantenimiento de Unidades Operacionales**

UNIDAD	TIPO DE MANTENIMIENTO	PERIODO

**Requerimiento de Válvulas o Hidrantes**

TIPO	LUGAR	DESCRIPCION

TIPO: válvula, hidrante

**Registros de Falla de Materiales de la Red y Tomas Domiciliarias**

MATERIAL	EN RED (%)	EN TOMAS (%)
TOTAL	100	100

MATERIAL: acero, fierro fundido, fierro galvanizado, cobre, PVC, acero, plomo, otro.

**Válvulas Utilizadas**

TIPO	LOCALIZACION	% DE APERTURA

**Interrupciones de la Red**

Periodo:

CAUSAS	No. DE CASOS	PORCENTAJE PROMEDIO	PROMEDIO DE PERDIDAS

CAUSA: tubería vieja, mala instalación, corrosión, calidad de materiales, poca profundidad, alta presión, temperatura, paso de vehículos

## ANEXO B

### 3.2 INSPECCIÓN Y AFORO DE FUGAS EN TOMAS DOMICILIARIAS

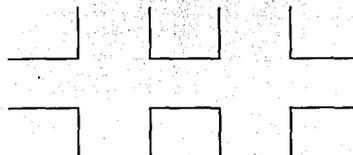
#### Datos Generales

NOMBRE DEL USUARIO: _____	DOMICILIO: _____
SECTOR: _____ CIUDAD: _____	FECHA: _____ HORA: _____ No. DE TOMAS: _____

#### Aforo antes de Excavar (10 litros)

No. DE MEDIDOR	TIEMPO EN EL CRONOMETRO

#### Croquis de Ubicación



#### Excavación

Profundidad respecto a el nivel de calle: \_\_\_\_\_ cm.

TIPO DE PAVIMENTO A LO LARGO DE LA TOMA					MATERIAL DE LA EXCAVACION								EDO. DEL PAVIMENTO	
A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	F	D	H	BUENO	MALO

TIPO DE PAVIMENTO: A = concreto, B = asfalto, C = terracería, D = empedrado, E = otro.

MATERIAL DE LA EXCAVACION: A = arena, B = grava, C = tezontle, D = tierra, E = arcilla, F = roca, G = piedras, H = otro

#### Estado de la Tubería

Diámetro: \_\_\_\_\_ pulg.

TIPO DE TUBERIA						ESTADO	
F. GALV.	F. FUND	COBRE	ASBESTO	PVC	POLIDUCTO	BUENO	MALO

#### Lugar de la Fuga

A	b	c	d	e	f	g	h	i	j

LUGAR DE LA FUGA: A = silla, B = inserción, C = niple, D = codo, F = tuerca unión med. G = llave de paso, H = llave del registro, I = conector, j = otro

### Señalar el lugar de la Fuga

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

1) silleta, 2) llave de incorporación, 3) niple, 4) tubería, 5) llave de registro, 6) codo, 7) tub. Superficial, 8) codo superficial, 9) llave de registro, 10) tuerca unión del medidor, 11) conector

### Tipo de Fuga

A	B	C	D	E	F	G	H

TIPO DE FUGA: A = rajadura, B = perforación, C = rotura, D = corte, E = rosca floja, F = niple safoado, G = tubería obstruida, H = otro

### Causas de las Fugas

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

CAUSAS DE LAS FUGAS: 1) tubería vieja, 2) mala instalación, 3) paso de vehículos, 4) poca profundidad, 5) corrosión, 6) calidad del material, 7) calidad de la mano de obra, 8) alta presión, 9) temperatura, 10) movimiento del suelo.

### Aforo de Fuga (10 lt)

SIN SELLAR Y EXCAVAR		SELLADO MOMENTANEAMENTE	
No. DE MEDICION	TIEMPO	No. DE MEDICION	TIEMPO

### Reparación

HORA DE INICIO	HORA DE TERMINACION	PRESION DE LA TOMA (kg/cm <sup>2</sup> )	TIPO

TIPO: 1) cambio de la toma, 2) sustitución de unión, 3) sustitución de la inserción, 5) sello con hule, 6) otro.

### Materiales Utilizados

LISTA	OBSERVACIONES

ANEXO C

**Cuadro 5.2.1 - 1**  
**ELIMINACIÓN DE FUGAS EN TUBERÍAS DE A-C DE 4", 6", 8" Y 12" DE DIÁMETRO**

UBICACIÓN DE LA FUGA	PROBLEMA	SOLUCION	PERSONAL	EQUIPO	HERRAMIENTA	MATERIAL	TIEMPO ESTIMADO
Tubo	Fisura transversal	Cortar en la fisura y colocar abrazadera, junta gibault o cople	Cuadrilla Base:  Jefe de cuadrilla Electricista Fontanería Ayudante de fontanero Peón Chofer	Equipo Base:  Apoyo Plano de la red esc: 1:10000 Seguridad  6 cascos 6 overoles 6 pares de guantes 6 pares de botas de hule Transporte 1 camioneta de 3.5 ton Señalamientos para protección 4 tableros informativos 2 caballetes de desvío 1 estrechamiento asimétrico 1 barra portátil 5 conos para protección y desvío 2 banderas para señales manuales 2 lámparas de destello 1 tablero luminoso Instalación eléctrica 1 escalera de aluminio Romper pavimento 1 martillo eléctrico Achique 1 bomba de gasolina de 3" 1 bomba eléctrica de 3" 2 botes de plástico de 19 lts - manguera para succión y desalojo de agua Eliminación de fuga 1 cortador para tubo de cobre 1 cortador para tubo de asbesto cemento de 3 a 6" 1 cortador para tubo de asbesto cemento de 8 a 12" Relleno y compactado 1 pison de costilla 1 pison de mano 1 bailarina Acarreo de material sobrante 1 camión de volceo de 6 m <sup>3</sup>	Herramienta Base:  Cierre de válvulas 2 manerales 2 pericos No. 10 1 gancho de varilla de 3/8" Instalación eléctrica 2 pinzas Romper pavimento 2 cuñas 2 marros Excavación 2 barretas - 2 zapapicos 2 palas cuadradas 2 palas de punta Eliminación de fuga 2 llaves steelson 1 juego de cinceles 2 marros 1 juego de llaves estriadas 1 juego de llaves mixtas - arco y segueta - sopletes de gasolina con soldadura y pasta 1 m de trapo 1 flexómetro 1 lima plana o escofina 1 martillo de bola 1 berbiqui 1 juego de brocas 2 cepillos metálicos 1 juego de desarmadores 1 limatón 3 emboquilladores para tupo de cobre 1 juego de pinzas 2 punzones Relleno y compactado 2 palas cuadradas	Material Base:  Instalación eléctrica 30 m de cable eléctrico Protección de estructuras contiguas 2 vigas de acero tipo I 2 polines de 4"x 4" 10 m de sogá 2 ademes de laminas de acero Eliminación de fuga abrazaderas de inspección de 4", 6", 8", 10" y 12" de diámetro gasolina y aceite anticorrosivo para tornillos cordón grafitado 3 collarines de 12" de diámetro cuñas de madera empaques de plomo de 4" a 12" de diámetro gomas cuadradas y redondas de 4" a 12" de diámetro juntas gibault de 4" a 12" de diámetro con gomas cuadradas o redondas pegamento llaves de banqueta de 1/2", 3/4" y 1" de diámetro llaves de inserción de 1/2", 3/4" y 1" de diámetro sal de amoníaco sellador soldadura de estaño tornillos para bridas de 4" a 12" de diámetro tubos de asbesto cemento de 4" a 12" de diámetro en clases A-5, A-7, A-10 y A-14 tubos de hierro galvanizado de 1/2", 3/4" y 1" de diámetro Relleno y compactado tepetate	3 hrs.
	Fisura longitudinal	Cortar el trama dañado y sustituir por otro, uniéndolo por medio de junta gibault o cople					
	Agujero o magulladura	Utilizar abrazadera de Fo. Fo. Junta gibault o cople					
	Ruptura de la campana	Cambiar el tubo					
Cople	Fisura transversal	Cambiar cople	Cuadrilla Base	Equipo Base	Herramienta Base	Material Base	3 hrs
	Fisura longitudinal	Cambiar cople					
	Agujero o magulladura	Cambiar cople					

UBICACIÓN DE LA FUGA	PROBLEMA	SOLUCION	PERSONAL	EQUIPO	HERRAMIENTA	MATERIAL	TIEMPO ESTIMADO
Junta Gibbault	Unión de tuberías diferente espesor  Deterioro de la pieza  Rota o mal instalada, uniendo tubería con extremidad de Fo. Fo.	Colocar otro tubo del mismo espesor y unir mediante junta gibbault nueva  Cambiar junta  Cambiar pieza o ajustar	Cuadrilla Base	Equipo Base	Herramienta Base	Material Base	3 hrs
Abrazadera	Deterioro de abrazadera	Cambiar abrazadera	Cuadrilla Base	Equipo Base	Herramienta Base	Material Base	3 hrs
Válvulas	Fuga en el empaque  Válvula rota o desgastada Estopero roto o desgastado  Usillo roto o desgastado	Cambiar empaques  Cambiar válvula  Cambiar estopero  Cambiar usillo	Cuadrilla Base	Equipo Base	Herramienta Base	Material Base	3 hrs
Empaque	Roto o desgastado	Cambiar empaque	Cuadrilla Base	Equipo Base	Herramienta Base	Material Base	3 hrs
Toma domiciliaria	Ramal roto o fisura  Abrazadera rota o mal instalada  Conector y/o tuerca de unión, rota o mal instalada  Llave de banqueta, fuga por empaque o rota	  Cambiar abrazadera  Conectar y/o cambiar tuerca  Cambiar empaque o llave	Cuadrilla Base	Equipo Base	Herramienta Base	Material Base	3 hrs

Fuente: DGCOH

**Cuadro 5.2.1 - 2**  
**ELIMINACIÓN DE FUGAS EN TUBERÍAS DE A-C DE 14", 16" Y 18" DE DIÁMETRO**

UBICACIÓN DE LA FUGA	PROBLEMA	SOLUCION	PERSONAL	EQUIPO	HERRAMIENTA	MATERIAL	TIEMPO ESTIMADO
Tubo	Fisura transversal	Cortar en la fisura y colocar abrazadera, junta gibault o cople	Cuadrilla Base:  Personal Complementario:  Operador de grúa Ayudante de operador Cuadrilla de soldadores Operador de retroexcavadora Sobreestante	Equipo Base:  Equipo Complementario:  Equipo para corte de tubería de 14", 16" y 18" de diámetro Grúa de 5 ton Soldadura autógena o eléctrica Retroexcavadora	Herramienta Base:	Material Base:  Material Complementario: Abrazaderas de inserción de 14", 16" y 18" de diámetro Cople de asbesto cemento de 14", 16" y 18" de diámetro Empaques de plomo de 14", 16" y 18" de diámetro Gomas cuadradas y redondas de 14", 16" y 18" de diámetro Juntas gibault de 14", 16" y 18" de diámetro con gomas cuadradas o redondas Tornillos para bridas de 14", 16" y 18" de diámetro Tubos de asbesto cemento de 14", 16" y 18" de diámetro en clases A-5, A-7, A-10 y A-14 Collarines de 14", 16" y 18" de diámetro	5 hrs.
	Fisura longitudinal	Cortar el trama dañado y sustituir por otro, uniéndolo por medio de junta gibault o cople					
	Agujero o magulladura	Utilizar abrazadera de Fo. Fo. Junta gibault o cople					
	Ruptura de la campana	Cambiar el tubo					
Cople	Fisura transversal	Cambiar cople	Cuadrilla Base	Equipo Base	Herramienta Base	Material Base Material Complementario	5 hrs
	Fisura longitudinal	Cambiar cople					
	Agujero o magulladura	Cambiar cople					

UBICACIÓN DE LA FUGA	PROBLEMA	SOLUCION	PERSONAL	EQUIPO	HERRAMIENTA	MATERIAL	TIEMPO ESTIMADO
Junta Gibbault	Unión de tuberías diferente espesor  Deterioro de la pieza  Rota o mal instalada, uniendo tubería con extremidad de Fo. Fo.	Colocar otro tubo del mismo espesor y unir mediante junta gibbault nueva  Cambiar junta  Cambiar pieza o ajustar	Cuadrilla Base	Equipo Base	Herramienta Base	Material Base Material Complementario	5 hrs
Abrazadera	Deterioro de abrazadera	Cambiar abrazadera	Cuadrilla Base	Equipo Base	Herramienta Base	Material Base Material Complementario	5 hrs
Válvulas	Fuga en el empaque  Válvula rota o desgastada Estopero roto o desgastado  Usillo roto o desgastado	Cambiar empaques  Cambiar válvula  Cambiar estopero  Cambiar usillo	Cuadrilla Base	Equipo Base	Herramienta Base	Material Base Material Complementario	5 hrs
Empaque	Roto o desgastado	Cambiar empaque	Cuadrilla Base	Equipo Base	Herramienta Base	Material Base Material Complementario	5 hrs

Fuente: DGCOH