



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS
EN REDES DE DISTRIBUCIÓN
DE AGUA POTABLE**

T E S I S

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

**P R E S E N T A N :
ENRIQUE FÉLIX ALVIZO OLMEDA
VICENTE ALFREDO BENÍTEZ SANTOYO
OSCAR SÁNCHEZ CUEVAS
DAVID VILLEGAS GARCÍA**



ASESOR: ING. NARCISO TALAMANTES CHÁVEZ

Ciudad Universitaria, México.

2004



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.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
FING/DCTG/SEAC/UTIT/001/04

Señores
DAVID VILLEGAS GARCÍA
OSCAR SÁNCHEZ CUEVAS
VICENTE A. BENÍTEZ SANTOYO
ENRIQUE FÉLIX ALVIZO OLMEDA
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. NARCISO TALAMANTES CHÁVEZ, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

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

INTRODUCCIÓN

- I.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- II. DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN UNA RED DE DISTRIBUCIÓN
- III. SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN
- IV. IMPACTO AMBIENTAL DE PROYECTOS DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO
- V. PROCESO CONSTRUCTIVO PARA LA REHABILITACIÓN DEL SECTOR EN ESTUDIO

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 3 de marzo del 2004.
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/AJP/cfe.

Vo.Bo. Talamantes Chávez
ing. Narciso Talamantes
23 de abril de 2004

Vo.Bo. Dif. Jirón
9/06/04

Vo.Bo
14/06/04
Alum
A Zelménghi

Vo.Bo. Ing. Miguel Ángel González L.
8 de junio de 2004

Vo.Bo
Comodorenal

ÍNDICE

ÍNDICE

	<u>PÁGINA</u>
ÍNDICE	ÍNDICE-1
INTRODUCCIÓN	INTRODUCCIÓN-1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
I.1 Generalidades	I-2
I.1.1 Marco global	I-2
I.1.2 Agua y pobreza	I-4
I.2 Determinación de las necesidades de agua potable	I-5
I.2.1 Escasez de agua en la República Mexicana	I-8
I.2.2 Aguas subterráneas	I-11
I.2.3 Contaminación del agua subterránea	I-13
I.2.4 Prevención y corrección de la contaminación	I-17
I.3 Situación de los sistemas de agua potable en las principales ciudades de la República Mexicana	I-18
I.3.1 Pérdidas de agua	I-19
I.3.2 Análisis de pérdidas de agua en la República Mexicana	I-20
I.3.3 Sobre explotación de los acuíferos	I-27
I.4 Componentes de un sistema de distribución de agua potable	I-29
I.4.1 Etapas de un sistema de distribución de agua potable	I-29
I.4.2 Red de distribución	I-40
I.4.3 Tuberías y accesorios	I-42
CAPÍTULO II DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN UNA RED DE DISTRIBUCIÓN	
II.1 Fugas de Agua	II-1

II.1.1 Problema de las fugas de agua potable	II-8
II.1.2 Planes y estrategias para el desarrollo del sector hidráulico en la República Mexicana	II-12
II.1.3 Evaluación de fugas de agua potable	II-14
II.1.4 Evaluación de pérdidas en la red	II-17
II.1.5 Evaluación de fugas en la red	II-20
II.1.6 Estadísticas de fugas de agua	II-22
II.1.7 Micromedición	II-25
II.1.8 Tipos de medidores	II-30
II.1.9 Características de los micromedidores	II-32
II.1.10 Medición de agua en algunas ciudades de la República Mexicana	II-33
II.1.11 Medición en fuentes de abastecimiento	II-34
II.1.12 Medición domiciliaria	II-36
II.1.13 Determinación de consumos	II-38
II.2 Clasificación de fugas de agua	II-39
II.3 Métodos de detección de fugas	II-41
II.3.1 Detección de fugas por presión diferencial	II-44
II.3.2 Detección de fugas por sonido	II-46
II.3.3 Equipo de localización de fugas	II-49
II.4 Prevención y corrección	II-56

CAPÍTULO III SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

III.1 Obtención de datos para el modelo y cálculo de la red de agua	III-2
III.1.1 Catastro de instalaciones	III-3
III.1.2 Datos hidráulicos y modelo de la red	III-5
III.2 Interpretación y calibración del modelo de la red	III-10
III.2.1 Selección de números de estaciones y ubicaciones	III-10
III.2.2 Equipo de medición	III-11

III.2.3	Tiempo de medición	III-11
III.2.4	Verificación y validación del modelo de red de agua potable	III-13
III.3	Análisis hidráulico del sector en estudio	III-15
III.3.1	Métodos análisis de redes de distribución de agua potable	III-16
III.3.2	Análisis hidráulico de la red de distribución	III-18
III.3.3	Sectorización de redes de distribución de agua	III-31
III.3.3.1	Concepto de sectorización	III-32
III.3.3.2	Fases de la sectorización	III-35
III.3.3.3	Control de pérdidas y la sectorización	III-36
CAPÍTULO IV	IMPACTO AMBIENTAL DE PROYECTOS	
	DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO	
IV.1	Definición de impacto ambiental	IV-3
IV.2	Marco jurídico en materia ambiental	IV-4
IV.2.1	Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos	IV-5
IV.2.2	Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	IV-6
IV.2.3	Normas Oficiales Mexicanas para la Protección al Ambiente	IV-6
IV.2.4	Atribuciones federales y locales	V-6
IV.2.5	Ley de Protección al Ambiente para el Desarrollo sustentable del Estado de México	IV-8
IV.2.6	Reglamento de la Ley de Protección al Ambiente del Estado de México en materia de impacto y riesgo ambiental	IV-12
IV.2.6.1	Niveles y contenido de las manifestaciones de impacto ambiental	IV-13
IV.3	Impacto ambiental debido a las fugas de agua	IV-14
IV.3.1	Presentación de un estudio de impacto ambiental	IV-15
IV.3.2	Programa de construcción de obras y actividades para evitar fugas de agua	IV-25

IV.3.2.1 Medidas de mitigación IV-28

**CAPÍTULO V PROCESO CONSTRUCTIVO PARA LA
REHABILITACIÓN DEL SECTOR EN ESTUDIO**

V.1 Proceso de rehabilitación del conjunto en estudio V-2

 V.1.1 Planeación de la construcción V-2

 V.1.2 Programa de rehabilitación V-5

 V.1.3 Organización del personal, equipo, herramienta y material V-10

 V.1.4 Acciones a seguir para la ejecución de la obra V-11

V.2 Procedimiento constructivo V-18

 V.2.1 Materiales de construcción en redes de agua potable V-18

 V.2.1.1 Tuberías V-18

 V.2.1.2 Tubería de cloruro de polivinilo V-21

 V.2.1.3 Tubería de polietileno de alta densidad V-25

 V.2.1.4 Etapas del proceso de reparación de fugas de agua V-39

V.3 Análisis de costos V-40

 V.3.1 Integración del precio unitario V-41

 V.3.2 Equipo para la rehabilitación de fugas de agua V-46

 V.3.3 Cálculo del costo horario V-49

 V.3.4 Presupuestos para la rehabilitación V-53

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES CONCLUSIONES-1

ANEXO A. Equipo e instrumentación para localización de
fugas de agua potable en redes de distribución.....ANEXO A-1

ANEXO B. Rugosidad absoluta ϵ en tubos comerciales.....ANEXO B-1

ANEXO C. Reglamento de la Ley de Protección al Ambiente
del Estado de México en materia de impacto y
riesgo ambientalANEXO C-1

PÁGINA

ANEXO D. Principales códigos y estándares nacionales e internacionales para la fabricación e instalación de tuberíasANEXO D-1

BIBLIOGRAFÍABIBLIOGRAFÍA-1

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural, junto con el aire es esencial para el desarrollo de los ecosistemas. En la naturaleza se presenta en los estados sólido, líquido y gaseoso y en cada uno de ellos desempeña un papel de gran importancia para la vida de las plantas, de los animales y del género humano.

Sólo el 3% del agua del planeta Tierra es agua dulce, de la cual el 3% resulta de muy difícil acceso para el consumo, ya que se sitúa en los casquetes polares y en los glaciares. Por lo que sólo el 0.003% del volumen total de agua del planeta Tierra es accesible para el consumo humano, motivo por el cual es de suma importancia colaborar de manera integral en el buen uso y cuidado de éste vital elemento, tratando de eliminar cualquier posibilidad que dé motivo a disputas en el futuro entre los países por tratar de poseerla, tal y como sucede en la actualidad para el caso concreto del petróleo.

En el caso particular de la Ciudad de México y las zonas conurbadas a ésta, las pérdidas por fugas de agua potable en redes de distribución representan aproximadamente el 37% del caudal con que se abastece a ésta urbe, esto representa más de 12,000 litros por segundo, equivalente a un desperdicio anual de 400,000,000 de metros cúbicos de agua potable. Todo esto es provocado por diferentes factores tales como: antigüedad de tuberías, fisuras y fracturas originadas por los asentamientos diferenciales en los suelos, además del mantenimiento inadecuado de las redes de distribución de agua potable, etcétera.

Es por esto que existe una gran necesidad de plantear y establecer programas de detección y eliminación de fugas que ayuden a la disminución gradual de dichas pérdidas, aprovechando entre otras cosas, de los beneficios que nos ofrece la aplicación de la tecnología actual en el campo de la hidráulica.

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Durante el desarrollo de este trabajo, se analizarán algunos de los métodos existentes más comunes para la detección de fugas, así como de las técnicas de recuperación que ayudan a aminorar dichas fugas de agua potable en redes de distribución.

Uno de los propósitos fundamentales de cualquier gobierno es proporcionar a los habitantes de su entidad, agua de buena calidad con cantidad y presión adecuada, con el fin de satisfacer necesidades salubres, bienestar y producción de servicios que éstos requieran.

Ante la imposibilidad de incrementar la oferta de agua potable, con la misma rapidez con la que crece la demanda, se ha puesto mayor atención a la recuperación del agua perdida por la existencia de fugas. Las fugas de agua potable que ocurren en los sistemas de distribución, es un problema serio en el ámbito mundial, por lo que se ha observado que resulta conveniente implantar un programa de detección y control de fugas.

Las fugas de agua potable tienen reflejos sociales y económicos en la población, ya que se trata de agua captada, bombeada, tratada, almacenada y distribuida que se pierde debido a fallas en el sistema de abastecimiento. En los sistemas de distribución de agua existen pérdidas considerables a lo largo de conducciones y redes, además, de desperdicios por parte de los usuarios, las pérdidas son también de tipo económico, por deficiencias en los sistemas administrativos y en el control de usuarios.

Para éste estudio de fugas de agua potable, se incluirán las que van desde las más pequeñas (que se pueden encontrar en las uniones de las tuberías y que son prácticamente imperceptibles), hasta las que son fácilmente reconocibles y que por ejemplo se puede observar fluyendo por encima del pavimento asfáltico. También se analizarán aquellas fugas de agua potable provocadas por la corrosión, esfuerzos concentrados y sobrepresiones.

Todo lo anterior generó el presente trabajo, que está integrado por cinco capítulos que son:

Capítulo I Planteamiento del problema.

Capítulo II Detección y recuperación de fugas en una red de distribución.

Capítulo III Sectorización de la red de distribución.

Capítulo IV Impacto ambiental de proyectos de sistemas de abastecimiento.

Capítulo V Proceso constructivo para la rehabilitación del sector en estudio.

Además se incluye esta introducción, las conclusiones y recomendaciones pertinentes al estudio, así como la referencia bibliográfica que sirvió de apoyo en la elaboración del trabajo, y finalmente los anexos complementarios.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad uno de los principales problemas en la República Mexicana y en todo el mundo es la escasez de agua, un recurso natural del que dependen todos los ecosistemas que existen en el planeta Tierra.

Desafortunadamente cada día crece el descuido del usuario al desperdiciar este vital líquido ya que por falta de cultura no se toma en cuenta que aunque la mayor parte del mundo está cubierta por agua, solamente una mínima cantidad de esta es agua dulce y que el 97% es agua salada. Tampoco se toma en cuenta que cada vez es mayor el consumo por el crecimiento desmedido de la población y por consiguiente existe una mayor contaminación de ésta.

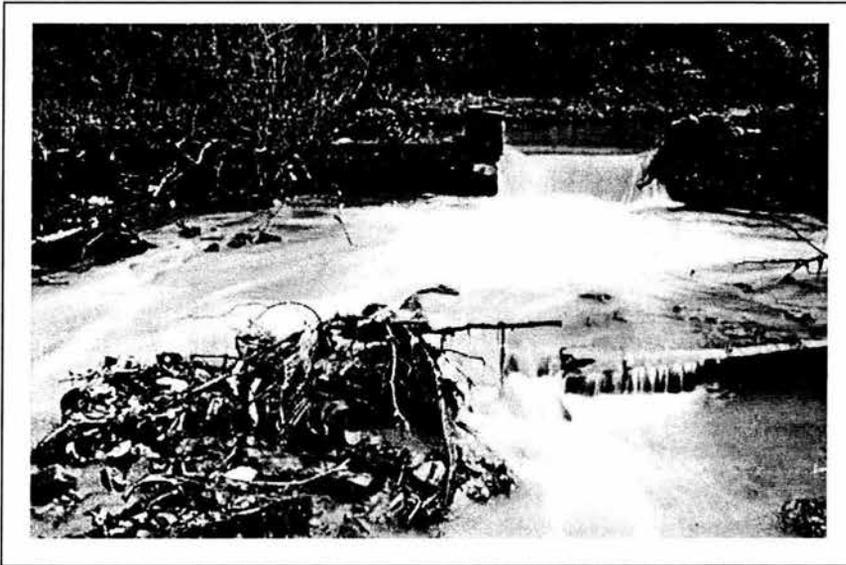
Uno de los medios naturales con los que se cuenta y que ayuda a obtener agua dulce es por medio del ciclo hidrológico que transforma el agua salada en agua dulce que los humanos interceptan en algún lugar de su paso entre el cielo y el mar.

Se usa y casi invariablemente, se contamina para después permitirle seguir su camino al océano. Como se sabe el agua adquiere impurezas de casi todo elemento con el que tiene contacto, ya sea orgánico o inorgánico y cuando se captan aguas no tan puras se deben someter a un tratamiento para hacerlas aptas al consumo humano, este tratamiento tiene un costo elevado ya que se hace con filtros, tanques de sedimentación y fundamentalmente sometiéndola a elevada cloración.

No obstante, muchas veces antes de consumirla en casa, ya adquirió algo de contaminación pues las tuberías que las conducen tienen filtraciones. Como se sabe, la contaminación del agua es causada por organismos tales como bacterias, virus, algas, hongos y otros microorganismos patógenos o puede ser debida a la

presencia de elementos inorgánicos, como arena, tierra, minerales, metales y productos químicos, como a continuación se ilustra en la Figura I.1 “Contaminación de ríos en general”.

FIGURA I.1 CONTAMINACIÓN DE RÍOS EN GENERAL



Algunos expertos afirman que menos del 15% del agua que consumen los humanos es realmente pura y apta para consumo humano. La disponibilidad de agua potable para consumo humano tiene una enorme importancia al grado que se considera que la purificación de los abastecimientos a partir del año 1900 ha ayudado a prolongar la vida humana.

I.1 GENERALIDADES

Con el propósito de hacer más comprensible la lectura de este trabajo lo primero que se hará es dar una breve explicación del entorno mundial relacionado con la importancia que tiene el cuidado del agua.

I.1.1 MARCO GLOBAL

Actualmente, más de 20 países enfrentan escasez crítica de agua, particularmente en el medio oriente y el norte de África, y pronto seguirán otros como China y la

India, países que poseen grandes extensiones territoriales así como también de una población numerosa.

De acuerdo a las estimaciones del Banco Mundial, más de 1,000 millones de habitantes en el mundo no tienen acceso a suministros de agua potable y 1,700 millones carecen de saneamiento adecuado. Garantizar el suministro a esos mil millones de personas requeriría una inversión cinco veces superior a la que se destina a éste fin actualmente, es decir unos 500'000 millones de pesos al año. El abastecimiento de agua urbano cuesta alrededor de 1,500 pesos por persona y una media de 500 pesos en el medio rural, según la Organización Mundial de la Salud (OMS).

El consumo de agua en el mundo ha aumentado desde 1950. La respuesta a este aumento de la demanda ha consistido, casi siempre, en la construcción de más y mejores obras hidráulicas, sobre todo embalses y canalizaciones de desvío de ríos para dotar de agua potable a las poblaciones. El número de grandes embalses, es decir, aquellos que tienen una presa de más de 15 metros de altura, se ha incrementado en todo el mundo, pasando de poco más de 5,000 en 1950 a cerca de 38,000 en la actualidad. Más del 85% de los grandes embalses que existen en la actualidad se han construido durante los últimos 35 años.

La ingeniería moderna ha permitido garantizar el suministro de zonas urbanas y rurales pero, según los ecologistas, ha favorecido a la degradación de los deltas fluviales y ha propiciado la inminente extinción de especies y humedales.

En 1990, 20 países sufrían escasez de agua para su consumo, para 1996, ya eran 26 países (230 millones de personas) según la Organización de las Naciones Unidas (ONU). El número de países con problemas de agua puede elevarse a 41 en el año 2020. El programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, calcula que de aquí al año 2027, aproximadamente un tercio de los habitantes del mundo sufrirá escasez crónica de agua. Las razones son evidentes: la mayor demanda sobre los recursos de agua dulce provocada por el crecimiento desmedido de la población humana, el empeoramiento de la calidad de los

recursos acuíferos existentes debido a la contaminación y las necesidades creadas por la vertiginosa expansión industrial y agrícola.

África disfruta en la actualidad de tan sólo un tercio del agua per cápita de la que disponía en 1960. Este continente es, junto con Asia, aquel donde el agua escasea más y su calidad es peor. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación cuyas siglas en inglés son (FAO) ha advertido en distintos informes de los efectos contaminantes de los plaguicidas y fertilizantes utilizados en la agricultura, que dañan las reservas de agua superficial y subterránea. Aproximadamente un 80% de toda la contaminación marina tiene como origen las actividades humanas en tierra, tales como la urbanización, la agricultura, el turismo, el desarrollo industrial, el vertido de aguas residuales insuficientemente tratadas y desechos industriales, y la construcción de infraestructura costera.

En el siguiente subcapítulo se habla de la relación que tiene el agua con la pobreza en el mundo.

I.1.2. AGUA Y POBREZA

El acceso al agua apta para el consumo para los hogares y las actividades agrícolas e industriales de pequeña escala mejora las condiciones de vida en general y puede incrementar de forma notable las oportunidades de los más pobres para aumentar su ingreso.

El agua genera, además, empleo y sustento para millones de personas. Se sabe que el 60% de los habitantes del mundo depende directamente de los ambientes costeros y oceánicos como una fuente de ingreso de actividades tales como la pesca, el transporte naviero y el turismo. La zona costera y el medio marítimo son, por ejemplo esferas fundamentales para las economías de los estados litorales de África Occidental. Las mujeres y los niños de las zonas rurales de los países en desarrollo invierten hasta 5 horas diarias en la búsqueda y transporte de agua de las fuentes distantes a muchos kilómetros de sus casas. Acercar esas fuentes a sus hogares les redituaría en mayor tiempo disponible para otras actividades,

como por ejemplo el incrementar los ingresos familiares, además de conllevar importantes beneficios para su salud.

Es también importante hablar de los acuíferos los cuales están formados por una capa de roca permeable capaz de almacenar, infiltrar y liberar agua. La capa de roca (o estrato) contiene muchos poros, que cuando se conectan, forman una red que permite el movimiento del agua a través de la roca. Las aguas subterráneas o freáticas también conocidas como acuíferos son aquellas que se acumulan bajo la tierra, almacenadas en los poros que existen en sedimentos como las arenas, gravas, calizas o basaltos y en las fisuras que se encuentran en rocas. Para mayor detalle, se hablará en forma más general de este tipo de agua en el subcapítulo I.3 "Situación de los sistemas de agua potable en las principales ciudades de la República Mexicana".

I.2 DETERMINACION DE LAS NECESIDADES DE AGUA POTABLE

Para poder determinar las necesidades de agua potable se hace una breve descripción de lo que son los mantos acuíferos, de los cuales se obtiene el agua para el uso humano y que son las fuentes principales de abastecimiento de agua, la cual es transportada por los sistemas de distribución.

En primera instancia, es importante comentar que los acuíferos, son formaciones geológicas que ocupan la zona de saturación y que son capaces de almacenar y transmitir agua en cantidades importantes, se caracterizan, por lo tanto, por poseer una permeabilidad significativa, una extensión y espesor considerables. Constituyen enormes conductos de transmisión ya que aportan el agua procedente de la infiltración a los ríos, manantiales, lagos, mares, y obras de captación, además de constituir los almacenes de enormes reservas que pueden ser utilizadas para cuando las extracciones excedan la recarga.

Lo anteriormente descrito permite hablar acerca de la problemática que existe en la República Mexicana sobre la explotación excesiva de los mantos acuíferos que son las principales fuentes de aportación de agua. La República Mexicana cuenta actualmente con cerca de 100 millones de habitantes, sobre una superficie de casi

dos millones de kilómetros cuadrados y tiene una precipitación media anual de 771 milímetros, lo cual equivale a una disponibilidad per-cápita promedio de 4,547 metros cúbicos por año, como se puede ver es una cantidad suficiente de acuerdo a los estándares internacionales, pero su desigual distribución en espacio y tiempo así como la escasez de esta misma agua con la calidad requerida para los diferentes usos, provocan frecuentes conflictos entre usuarios y regiones, el escurrimiento medio anual es de 417 km³ (el 1% del escurrimiento mundial); y la disponibilidad media anual por habitante es de 5,125 m³, aproximadamente el doble del promedio de agua disponible per-capita a nivel mundial, como se muestra en la Tabla I.1 "Precipitación y disponibilidad media del agua".

TABLA I.1 PRECIPITACIÓN Y DISPONIBILIDAD MEDIA DEL AGUA

PAÍS	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)	DISPONIBILIDAD NATURAL MEDIA (km ³ /año)	DISPONIBILIDAD NATURAL MEDIA PER CÁPITA (m ³ /hab/año)
Alemania	700	107	1,302
Argentina	591	276	7,459
Australia	534	492	26,032
Brasil	1,783	5,418	31,852
Canada	537	2,850	91,640
China	648	2,812	2,201
Corea del Sur	1,274	65	1,386
Costa Rica	2,926	112	28,100
Egipto	51	2	26
España	636	111	2,808
USA	715	2,000	7,184
Francia	867	179	3,020
Guatemala	1,996	109	9,579
Indonesia	2,702	2,838	13,380
Japón	1,668	430	3,394
Marruecos	346	29	1,021
México	771	476	4,547
Países Bajos	778	11	696
Sudáfrica	495	45	1,109
Turquía	593	227	3,408

Fuente: Food Agriculture Organization (FAO), 2003; Subdirección General Técnica. Comisión Nacional del Agua (CNA).

Sin embargo, lo anterior es insuficiente como para considerar a la República Mexicana como un país con la disponibilidad natural de agua extraordinaria. Además, dicha disponibilidad se distribuye en espacio y tiempo en forma irregular, con relación a la localización de los principales asentamientos de los grandes

centros urbanos e industriales; por ejemplo en conjunto las Zonas Metropolitanas como son la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey, son ciudades que utilizan más del 50% del agua disponible para uso urbano e industrial.

Por otra parte, las demandas se incrementan en general al ritmo del crecimiento de la población y de las actividades productivas, mientras que la oferta del recurso se mantiene relativamente estable, ejerciéndose fuertes presiones tanto a la capacidad natural como a la infraestructura existente y a la disponibilidad de los recursos financieros para mantenerla y aumentarla.

Adicionalmente, aunque se han observado avances, se siguen presentando patrones ineficientes en las practicas de uso, aprovechamiento y descarga de agua, lo que ha ocasionado perjuicios que en algunos casos no tienen fácil solución, como la intrusión salina y el hundimiento de terrenos por sobreexplotación de acuíferos, pérdida de la cantidad y calidad de cuerpos de agua superficiales y contaminación excesiva en las principales cuencas del país, lo que afecta negativamente el equilibrio ecológico de diversas regiones. La problemática fundamental de acuerdo a los usos a los que se destina el agua es:

Uso Público Urbano. Existen niveles elevados de rezago en la cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado en el medio rural (36% sin agua potable y 68% sin drenaje). Además, las tarifas por prestación del servicio son bajas y no incluyen el costo de saneamiento de agua. Finalmente, hay una escasa cultura de pago por la prestación de los servicios.

Uso Agrícola. El sector agrícola es el mayor consumidor de agua, y el que presenta menor eficiencia en su uso. Adicionalmente, se requiere intensificar la modernización y rehabilitación de la infraestructura de riego y temporal tecnificado.

Uso Industrial. El problema principal es la contaminación de cuencas y acuíferos por las descargas de aguas residuales industriales.

I.2.1 ESCASEZ DE AGUA EN LA REPÚBLICA MEXICANA

Esto es, debido a que la época de lluvias es corta ya que comprende únicamente cuatro meses junio, julio, agosto y septiembre, tiempo insuficiente para lograr una buena captación del recurso y poder abastecer a toda la población.

Como muestra de esta particularidad, del total de agua captada por lluvias, el 70% se evapora. Además, el escurrimiento del agua es mínimo en relación con el extenso territorio de la República Mexicana. Algunos aspectos característicos de la escasez de agua son:

Escasa captación del agua en época de lluvias. Uno de los principales problemas de la captación de agua son las diferentes precipitaciones pluviales que suceden en el país ya que mientras en el norte es sólo del 4% la captación de agua por los escurrimientos, en las zonas costeras y en el Sureste se logra un 50%. En la región Norte, por su naturaleza desértica, su problema es mucho mayor debido a que sólo se abastece por medio del almacenamiento de agua de las presas. El uso del agua en esa región es para la actividad agrícola, y en épocas de sequía los efectos suelen ser devastadores para la propia vida de muchas personas.

El sector agrícola. Otro factor importante que influye en la escasez de agua es el sector agrícola ya que como es sabido es el que absorbe más agua en toda la superficie terrestre. Desde 1940, en la República Mexicana se han destinado grandes recursos a proyectos de riego, a esto hay que sumarle que el 76% del total del agua disponible se aprovecha en este sector, de esta forma el problema de fondo radica en que los sistemas de riego son obsoletos.

La sobrepoblación. La República Mexicana presenta un desequilibrio en las estructuras naturales así como por la concentración de su población y de sus actividades económicas, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) la población en el año 1995 era de 91.2 millones de habitantes, en donde el 73% se concentraba en comunidades urbanas (22% en el Valle de México), la dinámica de crecimiento demográfico ha tenido un cambio

importante a partir del año 1970, debido principalmente a los programas de planificación familiar, así la tasa de crecimiento descendió del 3.4% en el año 1970 a 2.5% en 1980, hasta llegar a 1.5% a finales del año 1990.

Según las proyecciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO) la tasa de crecimiento seguirán disminuyendo paulatinamente en las próximas décadas hasta alcanzar un valor negativo en el año 2044, se estima que la población en el año 2010 será del orden de 110 millones de habitantes.

Específicamente en la Ciudad de México ocurre una situación muy especial, la sobrepoblación que día a día hace que la Zona Metropolitana se extienda provoca que el agua de lluvia difícilmente se infiltre al subsuelo, dado que con el transcurso de los años las zonas arboladas han ido desapareciendo para dar paso a la construcción de viviendas.

Problemas para satisfacer las demandas crecientes de agua. El principal problema que se enfrenta en la República Mexicana es poder abastecer de agua potable al mismo ritmo que la demanda crece, en las regiones donde se localiza el mayor volumen de extracción y de mayor dinámica por la actividad económica y crecimiento poblacional, cada vez es más complejo y costoso. Los costos promedio de extracción, suministro, potabilización y tratamiento se incrementan obviamente en los sitios de escasez relativa y donde existe contaminación.

Se estima que la inversión requerida para agregar un metro cúbico de agua al suministro anual durante el período de 1976 a 1996 fue en promedio 2.5 veces mayor que la que se necesitó en el período de 1950 a 1975 (a precios constantes de 1996). Los subsidios en el país son todavía muy altos, tanto a la inversión como a la operación y mantenimiento, incluso al gasto corriente de los sistemas hidráulicos federales o municipales. Los esquemas de subsidios como se han planteado son regresivos porque producen un efecto contrario al beneficiar a los que más tienen.

En los últimos años, el problema de la sobreexplotación de los recursos naturales y la necesidad inaplazable de proteger al medio ambiente ante el incremento de

los niveles de contaminación, han adquirido relevancia internacional, inducidos por la creciente evidencia de su carácter irreversible.

Existe una disponibilidad natural de agua de 1,500 millones de km a nivel mundial, esta cifra parece que podría garantizar el abasto del recurso con suficiencia; sin embargo, cuando se observa que el volumen total renovable sólo alcanza una tercera parte de la cantidad total y que los escurrimientos naturales, tanto superficiales como subterráneos llegan a una mínima cifra de 40,000 km al año, es claro que la disponibilidad real del líquido presenta evidentes características de escasez natural, acentuada por una distribución regional desigual.

El problema de la disponibilidad efectiva del agua es aún mayor por los desequilibrios hidráulicos que ocasiona el constante crecimiento de la demanda, la ineficiencia de su uso y el aumento de los niveles de contaminación ocasionados por prácticas inadecuadas en esquemas de producción y consumo.

Los problemas económicos por el recurso del agua. La explotación, el manejo y la administración integral efectiva de los recursos hidráulicos, se han convertido en una necesidad prioritaria para todos aquellos sectores socio-económicos, que dependen críticamente del agua, para continuar su ritmo y nivel de desarrollo. En general, una asignación y el uso racional de los recursos, evita conflictos distributivos, productivos y socio-políticos, y fortalece el desarrollo económico y social de los países.

Una administración eficiente y equitativa de la oferta y demanda del recurso, permite a los sectores que la usan desarrollar sus actividades productivas eficazmente y obtener ahorros a mediano y largo plazo. Así mismo, la eficiencia estimula el uso y desarrollo de tecnología que aumenta la productividad, reduce los costos de producción y confiere altos niveles de competitividad industrial al país.

Por esta razón entre otras, las actividades socioeconómicas incluyendo la urbanización, la producción industrial, los servicios y la agricultura, han llegado actualmente a una etapa en que los problemas relacionados con el agua se han

convertido en un factor limitante para su desarrollo y evolución sustentable. Es también importante por esas razones, reconocer la importancia que para la economía de un país tiene el uso del agua y la protección del medio ambiente, y hacer esfuerzos para que su uso o aprovechamiento tienda a considerar criterios de eficiencia, racionalidad económica y sustentabilidad.

Resulta importante resaltar que anteriormente el agua se consideraba por muchos como un recurso público libre y de muy bajo o nulo costo, si bien propiedad de la Nación, se ha ido transformando con el tiempo, en un bien económico y, ante todo social. Lo anterior deja de manifiesto que dicho recurso ha alcanzado hoy en día un alarmante nivel de relativa escasez que amenaza con limitar fuertemente su distribución entre los diferentes usos alternativos.

Sin embargo, fijarle un precio al agua no es un problema de fácil solución, (existen diversas metodologías para calcularlo y; sin embargo, poca información relevante y condiciones en el país para lograrlo), es importante destacar que su solución forma parte estratégica en el diseño y uso de los instrumentos de política económica del sector hidráulico.

1.2.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS

Procedente de la lluvia, el agua al caer al suelo puede tomar varias rutas, pudiendo correr por la superficie del suelo y desembocar en ríos y lagos, un porcentaje será usado por las plantas y árboles, y otro porcentaje se evaporará, el resto se infiltrará al subsuelo, de ahí el agua que empapa el material de tierra subterránea se le llama agua subterránea, se mueve lentamente, por lo general en centímetros por año, las aguas subterráneas constituyen el 95% del agua dulce que existe en la Tierra, y apenas el 5% es constituido por ríos, lagos, lagunas y otros, es por esta razón que las aguas subterráneas tienen gran importancia, su uso ha ido creciendo en los últimos años debido a su vez por la degradación de las aguas superficiales como consecuencia del crecimiento poblacional y por los grandes desarrollos industriales.

Las aguas subterráneas se han convertido en un elemento de enorme importancia por lo menos 1,500 millones de habitantes en todo el mundo dependen de ella para su abastecimiento de agua potable, por lo que resulta un recurso fundamental para la vida humana y para el desarrollo económico.

En las zonas urbanas y rurales, tanto en países desarrollados como en desarrollo, muchas ciudades obtienen su suministro para uso doméstico e industrial de acuíferos a través de pozos municipales y privados. Casi el 60% de las ciudades europeas de más de 100,000 habitantes consume agua procedente de acuíferos sobre explotados. Los agricultores que usan aguas subterráneas para irrigar sus cultivos durante la época seca son cada vez más.

En las zonas más áridas, donde las precipitaciones son bajas y difícilmente pronosticables, el agua freática puede ser la única fuente de suministro para todos los tipos de actividad agrícola. Sin embargo, los recursos de aguas subterráneas se encuentran actualmente bajo crecientes presiones a causa del rápido crecimiento de las poblaciones humanas, tanto por la demanda en constante aumento como por la carga contaminante sobre la superficie de la tierra. Se están extrayendo cantidades de agua a ritmos insostenibles en muchas zonas, disminuyendo seriamente las reservas.

Además, hay una evidencia creciente de que el agua freática esta cada vez más contaminada. Los contaminantes más comunes son el nitrato, las sales, los compuestos orgánicos solubles y, en ciertas condiciones, algunos patógenos fecales.

En la República Mexicana se tienen ubicados actualmente los cuerpos de aguas subterráneas que existen para lo cual a continuación se presenta la Tabla I.2 "Disponibilidad de aguas subterráneas" en la que se enlista por rubro el número correspondiente de acuíferos que se tiene determinado. Se le llama cuerpo de agua a un río que la transporta o también a una laguna que la almacena.

El agua subterránea llega a la superficie en forma natural por medio de los manantiales, lagos y arroyos, o se puede extraer a través de un pozo que se conecta al acuífero.

Las aguas subterráneas están constituidas por dos componentes principales, el volumen renovable (la recarga estacional del acuífero) y volumen no renovable (almacenamiento del acuífero), el manejo de ambos depende en gran medida del potencial que tenga cada uno de ellos, además de la existencia de alternativas que permitan realizar el uso conjunto de los recursos hidráulicos. Es por esto que a continuación se tratarán los problemas que provoca la contaminación de los mantos acuíferos.

**TABLA I.2 DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS
EN LA REPÚBLICA MEXICANA**

CUERPOS DE AGUA SUBTERRÁNEA	
Número de Acuíferos	649
Recarga media de acuíferos (km ³ /año)	68
Recarga natural media (km ³ /año)	53
Recarga inducida media (km ³ /año)	15
Número de acuíferos sobre explotados	96
Volumen promedio de agua no renovable extraído de acuíferos sobreexplotados (km ³ /año)	8
Número de acuíferos con problemas de intrusión salina	18

Fuente: Comisión Nacional del Agua (CNA), tomado del compendio Básico del Agua en México.

I.2.3 CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Para hacer uso adecuado del agua subterránea, deberá tenerse en cuenta el conocimiento de las características naturales así como de los posibles

contaminantes, derivados de la actividad del hombre, la calidad del agua subterránea queda definida por su composición, y del conocimiento de los efectos que ésta puede causar debido a uno o varios de los componentes que ésta contenga.

Existe un gran número de posibles orígenes de la contaminación de los acuíferos, entre ellos se encuentran los siguientes:

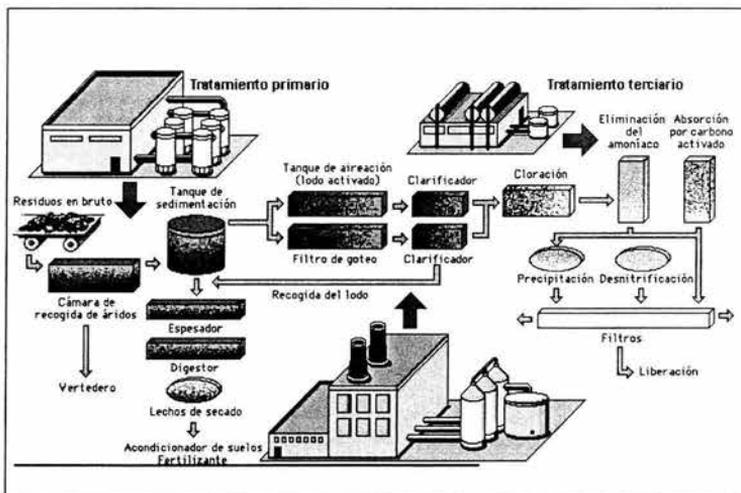
- **Las actividades domésticas.** La contaminación generada por esta actividad es principalmente por productos orgánicos, contaminación biológica originada de las fosas sépticas, pozos negros, fugas en los sistemas de alcantarillado, así como la contaminación provocada por el uso de productos químicos como es el caso de los detergentes.
- **Las labores de la agricultura.** En esta contaminación intervienen los abonos de estiércol, los cuales contaminan al aportar nitratos al suelo, aumentando la alcalinidad de infiltración profunda, así como en la utilización de pesticidas.
- **Las aguas salinas.** Esta contaminación es generada por el movimiento lateral o vertical del agua salada natural la cual se infiltra a través de medios porosos.
- **Por efecto de aguas superficiales.** La contaminación se genera cuando las aguas superficiales producen una recarga de acuíferos y contaminan las aguas subterráneas.
- **Actividades industriales.** Aquí dependerá del tipo de industria y desecho que produzca, por lo general es una contaminación de aguas de aspecto insalubre y nocivas procedentes de la industria con actividades como la metalurgia, minería y de alimentación.
- **Pozos mal contruidos o abandonados.** La contaminación de los pozos en abandono o por su mal construcción se manifiesta cuando los pozos presentan entubaciones rotas o corroídas en niveles de agua de mala calidad y que permiten el acceso de las aguas superficiales contaminadas.

- **El vertido de basura.** Se realiza por tirar basura orgánica, biológica, e inorgánica producida por el entierro de basura en forma inadecuada en material permeable o que esté en contacto con el nivel freático.
- **Actividades nucleares.** Esta contaminación además de aportar componentes orgánicos e inorgánicos, también produce combustibles nucleares irradiados.

Es por esto que ahora se cuenta con métodos para darles un tratamiento a las aguas residuales y obtener nuevamente agua para el consumo humano como se ilustra en la Figura I.2 “Planta de tratamiento de aguas residuales”.

La calidad del agua se determina a partir de los análisis químicos, físicos y bacteriológicos, los cuales pueden variar desde un análisis sencillo hasta uno más complejo.

FIGURA I.2 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



Índice de la Calidad del Agua. Indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como un porcentaje del agua pura; así el agua altamente contaminada tendrá un Índice de Calidad de Agua cercano o igual a 0%; en tanto que, el agua en excelentes condiciones el valor del índice será cercano a 100%.

El Índice de Calidad del Agua fue desarrollado de acuerdo con las siguientes etapas: La primera etapa consistió en crear una escala de calificación de acuerdo con los diferentes usos del agua. La segunda involucro el desarrollo de una escala de calificación para cada parámetro de tal forma que se estableciera una relación entre los diferentes parámetros y su influencia en la contaminación. Después de que fueron preparadas estas escalas, se formularon los modelos matemáticos para cada parámetro, los cuales convierten los datos físicos en correspondientes índices de calidad por parámetro (li).

Debido a que ciertos parámetros son más significativos que otros en su influencia en la calidad del agua, este hecho se modeló introduciendo pesos o factores de ponderación (W_i) según su orden de importancia respectivo. Finalmente, los índices por parámetro son promediados a fin de obtener el Índice de Calidad del Agua de la muestra que se tiene como lo muestra la Tabla I.2 "Parámetros del Índice de la Calidad del agua según su importancia".

La problemática de las aguas subterráneas en la República Mexicana ha tomado importancia en los últimos 15 años debido a que anteriormente no se tomaba en cuenta la calidad de éstas aguas, sólo importaba que fuera suficiente para abastecer la demanda requerida, de ahí que no se tenga mucha información acerca de la calidad, a partir del año 1990, el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) se dio a la tarea de estudiar las condiciones de los acuíferos en la República Mexicana, dando a conocer las características de explotación, así como las corrientes subterráneas y la dirección del flujo de las mismas, plasmando ésta información en 13 regiones hidrológicas administrativas; material compilado en un disco compacto (CD-ROM) que abarca todo el territorio nacional y que la dependencia pone a disposición del público que lo requiera.

El territorio nacional ha sido cubierto en estas 13 regiones hidrológicas administrativas considerando los siguientes Ciudades: Chihuahua, Durango, Guadalajara, Hermosillo, La Paz, Mérida, Mexicali, Ciudad de México, Monterrey, San Luis Potosí, y Villahermosa.

**TABLA I.2 PARÁMETROS DEL ÍNDICE DE LA CALIDAD
DEL AGUA SEGÚN SU IMPORTANCIA**

PARÁMETRO	PESO (Wi)	PARÁMETRO	PESO (Wi)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	5.0	Nitrógeno en Nitratos (NO ₃)	2.0
Oxígeno disuelto	5.0	Alcalinidad	1.0
Coliformes fecales	4.0	Color	1.0
Coniformes totales	3.0	Dureza total	1.0
Sustancias activas al azul de Metileno (detergentes)	2.0	Potencial Hidrógeno (pH)	1.0
Conductividad eléctrica	2.0	Sólidos suspendidos	1.0
Fosfatos totales (PO ₄)	2.0	Cloruros (Cl ⁻¹)	0.5
Grasas y aceites	2.0	Sólidos disueltos	0.5
Nitrógeno amoniacal (NH ₃)	2.0	Turbiedad	0.5

Fuente: Comisión Nacional del Agua (CNA).-Ley Federal de Derechos en Materia de Agua

I.2.4 PREVENCIÓN Y CORRECCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

La prevención contemplará aquellas medidas que tengan por objeto evitar que se produzca la contaminación, como puede ser el caso de:

- a) **Estudios de vulnerabilidad de los acuíferos.** Será la definición de las conexiones con aguas superficiales, infiltración, conexiones laterales, esquemas de flujo, capacidad autodepurante, etc.
- b) **Ordenamiento legal de los suelos.** En función de la vulnerabilidad existente, se establecerán perímetros de protección, normatividad de vertidos, de construcción y abandono de sondeos, etc.
- c) **Recopilación de datos.** Referido a inventarios, localización y caracterización de posibles focos de contaminación, fugas en conducciones

sanitarias, escapes industriales, vertederos, y estudio del nivel de contaminantes de tipo difuso (compuestos de nitrógeno, pesticidas, etc.).

- d) **Redes de vigilancia y control.** Para que se puedan satisfacer las características de calidad del agua.
- e) **Campañas informativas.** Poner a disposición de la población en general información necesaria acerca de la vulnerabilidad de los acuíferos y sus efectos (cómo pueden ser contaminados tan fácilmente y los posibles efectos que pueden ocasionar).

La corrección será determinada por aquellas medidas con las cuales se intentará recuperar la calidad de las aguas subterráneas, hasta hacerlas de nuevo aptas para el uso a que estén destinadas, de dichas medidas se destacan las siguientes:

- a) **Identificación del origen de la contaminación.** Detectando los focos de contaminación existentes, estudiando los posibles focos de contaminación difusa.
- b) **Evaluación.** Realizar los estudios necesarios para conocer y determinar así el alcance del problema.
- c) **Eliminación.** Una vez identificado el problema causante de la contaminación, lo siguiente es la eliminación del mismo, realizando la limpieza necesaria.

1.3 SITUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE EN LAS PRINCIPALES CIUDADES DE LA REPÚBLICA MEXICANA

A continuación se hace mención de las situación en que se encuentran los sistemas de agua potable en las principales ciudades de la República Mexicana haciendo énfasis que éstos problemas además de ser ocasionados por el uso inadecuado que se le da al agua como ya se explicó anteriormente también son ocasionados por las pérdidas de agua. Así también, se da a conocer de manera general algunos aspectos fundamentales en lo referente al tema para toda la superficie terrestre, incluyendo las cifras que dan un dato aproximado del lugar en

que se encuentra la República Mexicana con respecto al tema de pérdidas de agua.

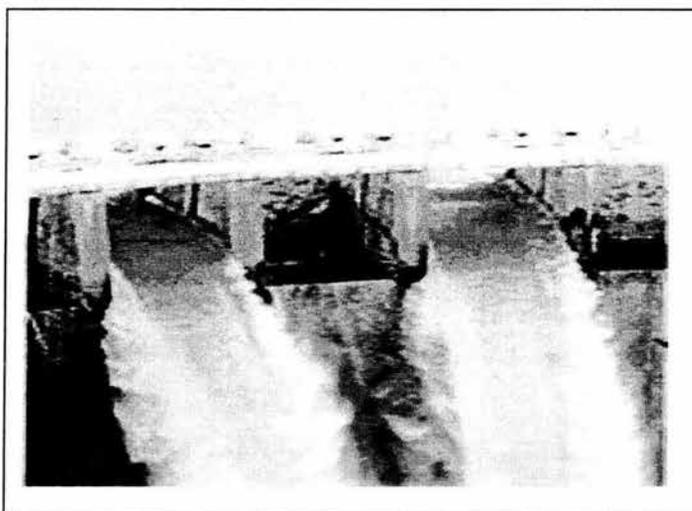
I.3.1 PÉRDIDAS DE AGUA

Las pérdidas de agua son sinónimas de pérdidas de energía, dinero, trabajo y tiempo. La mayor parte de estas pérdidas se presentan en las fugas de agua que ocurren a través de las líneas de conducción utilizadas para su transportación desde la fuente emisora que son los acuíferos pasando por toda la red de distribución hasta el órgano receptor o sea el consumidor o usuario.

Los sistemas de abastecimiento de agua potable como el que se ilustra en la Figura 1.3 "Presa de almacenamiento de agua", están formados por equipos operacionales que captan el agua desde la fuente natural emisora como son ríos, lagos, lagunas o pozos y es conducida hasta el usuario, y que en este trayecto se forman subsistemas para su producción y distribución de la misma.

Durante la distribución del agua en estos sistemas y subsistemas, a los cuales se les nombrará redes, existe un alto porcentaje de fugas las cuales se pueden detectar cerca de las tomas domiciliarias y que en su caso es la mayor preocupación de los Gobiernos Federales, Estatales y Municipales.

FIGURA 1.3 PRESA DE ALMACENAMIENTO DE AGUA



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

Según la Comisión Nacional del Agua (CNA) de continuar los actuales patrones de baja eficiencia en el riego, sobreexplotación de acuíferos y contaminación de cuerpos superficiales, en aproximadamente 25 años la República Mexicana padecerá la falta de este recurso en varias ciudades, verá frenado su desarrollo económico y social y sufrirá el colapso de ecosistemas y registrará problemas en la salud pública.

Muchos de los problemas que se tienen, se detectan tarde, casi hasta que las fugas salen a la vista de los pobladores, y en este caso estas fugas que se ven son la minoría de su totalidad, ya que la mayoría de fugas se encuentran en el subsuelo, y son las que menos se ven, corriendo el riesgo de que se lleguen a contaminar por diferentes causas.

Al comparar las pérdidas de agua potable existentes en la República Mexicana así como a la de otros países en todo el mundo (y que además casi no tienen agua y están en pobreza económica), contra la de los países del primer mundo que utilizan tecnologías avanzadas; arroja una notablemente marcada diferencia para beneficio de éstos últimos.

A manera de ejemplo, está Japón que tiene un índice de pérdidas de agua potable mínimo, menor aún que el existente en los Estados Unidos de América, siendo que Japón, se levantó tras haber sido devastado por bombas nucleares en la Segunda Guerra Mundial.

I.3.2 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS DE AGUA EN LA REPÚBLICA MEXICANA

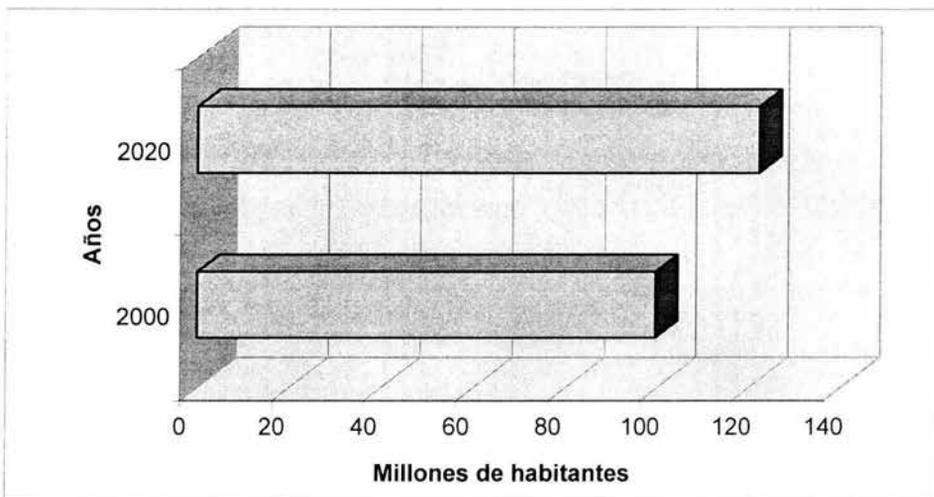
Al hacer una comparación actual en la República Mexicana con otros países en el todo el mundo, se tiene que con 4,986 m³ por habitante al año, la disponibilidad de agua es 20 veces menor a la de Canadá, 10 veces menor a la de Brasil y la mitad

de la de los Estados Unidos de América. Sin embargo, es el doble que en China, cuatro veces la de Egipto y 30 veces la de Arabia Saudita. Según los estudios realizados por la Comisión Nacional de Agua (CNA), de una precipitación media total de 771 mm/año, equivalente a 1,549 km³ de agua, el sureste es la zona que recibe la mayor parte. La paradoja es que las zonas noreste, norte y centro del país, que concentran el 84% del Producto Interno Bruto (PIB) y el 77% de la población, cuentan con solo el 28% de esta agua.

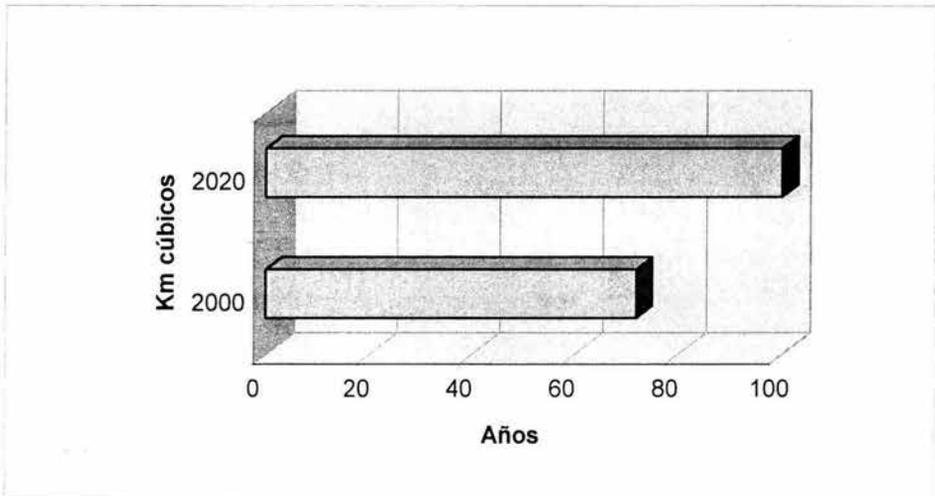
En el sureste se concentra el 16% del Producto Interno Bruto, el 23% de la población y únicamente el 8% de las tierras irrigadas, pero tiene el 72% del total nacional de agua. Tanto en Baja California Norte o Sonora puede llover menos de 100 mm/año y en el estado de Chiapas o Tabasco más de 3,000 mm.

De mantenerse las actuales tendencias demográficas, algo como lo que muestra la Gráfica I.1 "Crecimiento poblacional al año 2020". Si se mantiene el aumento en el uso del agua, la República Mexicana enfrentará mayores problemas para la distribución del agua en el mediano plazo.

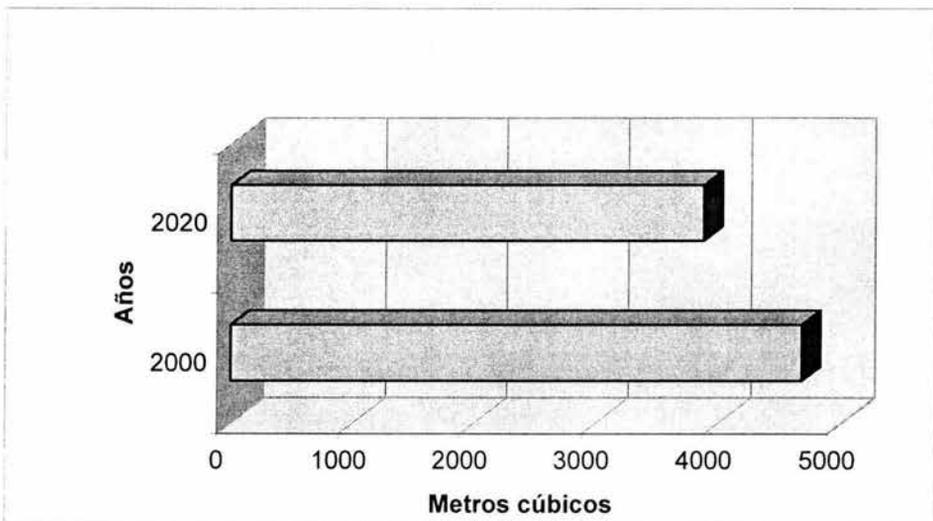
**GRAFICA I.1 CRECIMIENTO POBLACIONAL
AL AÑO 2020**



**GRAFICA I.2 AUMENTO DEL CONSUMO DE AGUA
AL AÑO 2020**



**GRAFICA I.3 DISPONIBILIDAD DE AGUA
AL AÑO 2020**



Fuentes: Consejo Nacional de Población (CONAPO) y la Comisión Nacional del Agua (CNA).

Además, el valor estratégico del agua la convierte en una fuente potencial de conflictos internacionales. Lo anterior se agrava conforme aumente la contaminación y salinización de ríos y acuíferos. Se estima que los volúmenes promedio de fugas son del orden del 36% al 40% del agua que se suministra a las ciudades. Pero que en algunos estados se eleva demasiado, tal es el caso del estado Oaxaca, que sus pérdidas de agua son de aproximadamente 60%, así se ha comprobado en diferentes análisis que se han hecho. Del total de fugas, entre el 80% y el 90% ocurren en las conexiones domiciliarias y se deben principalmente a la mala calidad de los materiales, a la construcción deficiente y a que no se respetan las normas de calidad.

EL Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) organismo creado en 1986 por el Gobierno Federal ha desarrollado una metodología para resolver el problema de las pérdidas de agua potable, que sintetiza diez años de experiencia de aplicaciones prácticas en más de 30 sistemas de agua potable del país, cursos de capacitación, asesorías técnicas y manuales publicados. Esta metodología se divide en las siguientes etapas: diagnóstico, se evalúan los volúmenes de agua que se pierden y sus principales patrones de ocurrencia, se identifican las causas y se hace una evaluación económica de las zonas, para continuar con medidas prioritarias, con lo que se jerarquizan proyectos y acciones.

En la segunda fase, o de eliminación, se definen los procedimientos, diseños y equipos para facilitar la búsqueda de pérdidas y subsanar el daño existente. Finalmente en la tercera fase, que es la de control se plantean y ejecutan los subproyectos y acciones, ya sean directas, indirectas o de apoyo que permiten establecer una estructura adecuada dentro de la empresa del agua para dar continuidad a la recuperación de pérdidas, de forma ordenada y factible. Esta metodología se aplicó en la ciudad de Reynosa, en el estado de Tamaulipas, que tiene alrededor de 85 mil tomas domiciliarias. El nivel de facturación hasta el año de 1995 correspondía al 42% del volumen suministrado, es decir, las pérdidas físicas y comerciales se calculaban en 58%. En 1996 la Comisión Nacional de

Agua (CNA) contrató al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) para desarrollar el diagnóstico de pérdidas del sistema.

Así se lograron detectar numerosos problemas de usos no autorizados, facturación y fugas, mismos que se empezaron a corregir, permitiendo al final del diagnóstico una reducción de los niveles de pérdidas, ubicándolos en el 42% y por lo tanto se concluyó que el volumen potencial anual de pérdidas recuperable ascendía a 6'500,000 m³ de agua. Con base en los resultados, se implantaron medidas como la sustitución de tuberías dañadas, elementos de ensamble como codos, tees, válvulas y algunos medidores en mal estado para mejorar la operación hidráulica de la red, disminuir fugas y mejorar la facturación. Actualmente, se han inspeccionado 10,740 tomas domiciliarias, de las cuales, se han rehabilitado alrededor del 9%, se han verificado cerca de 500 micro medidores, se han detectado 850 usuarios clandestinos, incluyendo 35 grandes usuarios.

De acuerdo con los informes de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de Reynosa, Tamaulipas, indican una recuperación de 5'000,000 m³, que el organismo cobra a \$2.40/m³ en promedio, lo cual representa alrededor de \$12'000,000/año, mientras que el costo total de las acciones de recuperación de pérdidas ha ascendido a \$2'500,000. Adicionalmente, se ha alcanzado una cobertura de fugas del 100% en la ciudad. En países que están en vías de desarrollo (Centro y Sudamérica, El Caribe, Norte y Sur de África, entre otros), así como para el caso de la República Mexicana, se han llevado a cabo programas para un mejor manejo de la demanda tarifaria. En la Ciudad de México se implementó una nueva estructura tarifaria que cobra más por m³ cuando el nivel de consumo se incrementa.

En Sao Paulo, Brasil, el cobro de las descargas indujo reducciones en la demanda de agua entre 42% y 62% en plantas industriales (Banco Mundial 1996-1997). Un indicador fundamental de un organismo operador es el número de tomas registradas, del que se deriva un índice que puede calcularse como la relación entre el número de tomas y el de empleados. De ésta, se obtuvo un índice de 5.4

empleados por cada 1000 tomas en los organismos analizados por el Banco Mundial, en contraparte, se detectaron índices del orden de 2.2, 2.9 y 2 en compañías europeas, estadounidenses y canadienses respectivamente. Los índices de productividad por empleado son importantes en la posición financiera de la empresa, pero es innegable la importancia que implica tener un balance de volúmenes de agua producida y facturada. Esto es que el agua no contabilizada, y por tanto no cobrada, se define como:

El volumen de agua producido menos el volumen de agua facturado y el resultado de esta diferencia se divide entre el volumen producido. Como se indica en la siguiente ecuación:

$$ANC = \frac{VP - VF}{VP}$$

En donde:

- ANC = Agua No Contabilizada.
- VAP = Volumen de agua producido.
- VAF = Volumen de agua facturado.

El Agua No Contabilizada (ANC), es considerado como un índice que puede resultar un tanto variable, pues con frecuencia se producen errores en la medición de los volúmenes, particularmente en los de consumo. Como consecuencia éste índice pierde significado a medida que la micro medición disminuye. Los resultados de un estudio que practicó el Banco Mundial, hace algunos años indican un promedio del 34% de Agua No Contabilizada (ANC) en las empresas latinoamericanas que fueron muestreadas, aunque existen cifras hasta del 60% en otros organismos del continente americano.

Estos porcentajes llaman demasiado la atención, más si se comparan con el 17% manejado en las empresas europeas y el 12% de los Estados Unidos de América, se verá con toda claridad que existe una notable diferencia en la disminución de pérdidas por fugas de agua potable. A continuación se evalúan las pérdidas de agua potable registradas en 27 de las ciudades más representativas de la República Mexicana, en las que se integran las pérdidas en las tomas, pérdidas en

la red, pérdidas por medición y pérdidas totales de los sistemas. La Tabla I.3 “Evaluación de Pérdidas de Agua en 27 Ciudades de la República Mexicana”, ilustra y enlista con mayor detalle lo anteriormente mencionado.

**TABLA I.3 EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE AGUA
EN 27 CIUDADES DE LA REPÚBLICA MEXICANA**

No.	CIUDAD	P É R D I D A S							
		ENTOMAS		EN LA RED		MALA MEDICIÓN		TOTALES	
		(l/s)	(%)	(l/s)	(%)	(l/s)	(%)	(l/s)	(%)
1	OAXACA, OAX.	466	61.9	8	1.1	0	0	454	63
2	CHETUMAL, Q.ROO.	180	35.8	99	19.7	0	0	279	55.5
3	LEÓN, GTO.	629	20.7	987	32.4	0	0	1616	53.1
4	CAMPECHE, CAMP.	156	29.7	114	21.7	0	0	270	51.4
5	FRESNILLO, ZAC.	54	16.7	84	25.9	6	1.9	144	44.4
6	SAN CRISTOBAL DE LAS CASA, CHIS.	118	39.6	11	3.7	0	0	129	43.3
7	CHIHUAHUA, CHIH.	552	15.8	896	25.7	0	0	1448	41.5
8	COATZACOALCOS, VER.	262	35.9	36	4.9	0	0	298	40.8
9	CD. DEL CARMEN, CAMP.	67	30.5	23	10.5	0	0	90	40.9
10	DELICIAS, CHIH.	134	19.7	99	14.5	38	5.6	271	39.8
11	JALAPA, VER.	465	38.3	8	0.7	0	0	473	38.9
12	DURANGO, DGO.	649	30.5	176	8.3	0	0	825	38.8
13	VERACRUZ, VER.	644	22.4	445	15.5	0	0	1089	38
14	LOS CABOS, B.C.S.	61	22.8	32	1.2	8	3	101	37.8
15	MEXICALI, B.C.N.	417	15.3	399	14.6	184	6.8	1000	36.7
16	CD. JUAREZ, CHIH.	1241	29.9	240	5.8	0	0	1481	35.7
17	VILLAHERMOSA, TAB.	530	27.9	137	7.2	0	0	667	35.1
18	CONSTITUCIÓN, B.C.S.	52	31.5	2	1.2	1	0.6	55	33.3
19	MAZATLAN, SIN.	205	15.2	244	18.1	0	0	449	33.3
20	GUAYMAS, SON.	114	23.4	30	6.1	6	1.2	150	30.7
21	ZACATECAS, ZAC.	134	27.6	15	3.1	0	0	149	30.7
22	QUERETARO, QRO.	242	13.6	50	2.8	244	13.7	536	30.1
23	TUXTLA GUTIERREZ, CHIS.	213	18.3	93	8	39	3.4	345	29.7
24	CANCUN, Q.ROO.	114	12.1	147	15.6	2	0.2	263	28
25	ENSENADA, B.C.N.	113	19.7	16	2.8	24	4.2	153	26.7
26	TAPACHULA, CHIS.	50	6.7	106	14.3	14	1.9	170	22.9
27	SALTILLO, COAH.	199	13.3	380	25.4	169	11.3	748	50

Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), 1999.

En el siguiente subcapítulo se mostrarán algunos de los problemas y daños que la escasez de agua puede provocar en los mantos acuíferos que como consecuencia de la sobre explotación se ven directamente afectados al existir un desequilibrio ecológico.

I.3.3 SOBRE EXPLOTACIÓN DE LOS ACUÍFEROS

La sobreexplotación acuífera, es el estado hidrológico de un acuífero cuando su almacenamiento hidráulico se encuentra disminuido por una extracción en continuo exceso de la recarga y que produce efectos posiblemente no reversibles, por lo tanto, ésta sobre explotación se puede producir en un rango, amplio, varios grados de afectación a un acuífero, los que podrán ser diferentes para cada tipo de material ya sea granulares o rocas fracturadas, así como para diferentes condiciones climáticas dependiendo de la región en que se encuentren estos acuíferos.

El término de la sobre explotación siempre está ligado con los abatimientos de los niveles piezométricos, y esto es una causa suficiente para recomendar la suspensión de nuevas autorizaciones de extracción de aguas subterráneas.

Los efectos que se pueden producir se encuentra una variedad de ellos, que afecta tanto a la calidad como a la cantidad de agua subterránea, la economía de la región, su desarrollo tecnológico, la infraestructura construida sobre el, así como también afecta la salud y el medio ambiente.

Es común que en un acuífero sobre explotado se muestre un aumento de la concentración de sales en el agua, y se requiera de niveles de bombeo cada vez más profundos, que exista una disminución del almacenamiento subterráneo, la reducción del la permeabilidad del acuífero y de su zona no saturada sobre éste, así como la porosidad efectiva, además del fracturamiento del terreno y hundimiento del mismo, por lo general éste tipo de problemas se presentan en regiones donde los recursos hidráulicos superficiales son más escasos que los subterráneos, y en la mayor parte las veces se propician daños.

En la zona Centro de la República Mexicana, que abarca los estados de Aguascalientes, Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato y Querétaro, las escasas fuentes de agua superficiales se destinan básicamente a la agricultura y la demanda del agua subterránea supera en más del 70% de la recarga de los acuíferos, por lo tanto el decremento del nivel de los mismos resulta alarmante.

En el estado de Yucatán, las características del suelo a propiciado problemas de contaminación severa por la infiltración a los mantos freáticos y de intrusión salina en las zonas costeras.

En el estado de Baja California Sur, no se cuenta con cuerpos de agua superficiales y las lluvias son escasas, es por ello que el acuífero constituye la única fuente de abastecimiento, dada esta situación, el crecimiento de las zonas turísticas han producido un problema severo de la intrusión salina debido al exceso de bombeo.

En la región Noreste de la República Mexicana, existen altas concentraciones de minerales en las aguas subterráneas debido a la existencia de zonas mineras, en los estados de Chihuahua, Nuevo León y Durango, este problema aunque no es originado por actividades humanas se acentúa por la sobre explotación, que provoca mayor concentración de los elementos existentes.

En el mejor de los casos se decreta una disminución en la extracción de la cuenca donde se encuentra el área afectada; sin embargo, en algunos de los casos éste efecto es temporal por la concentración de los aprovechamientos y si en ésta etapa se realiza una evaluación hidrogeológica de los recursos del agua subterránea, se le puede restar oportunidad a una región cuando es subvaluada o bien se le perjudica cuando esta sobrevaluada.

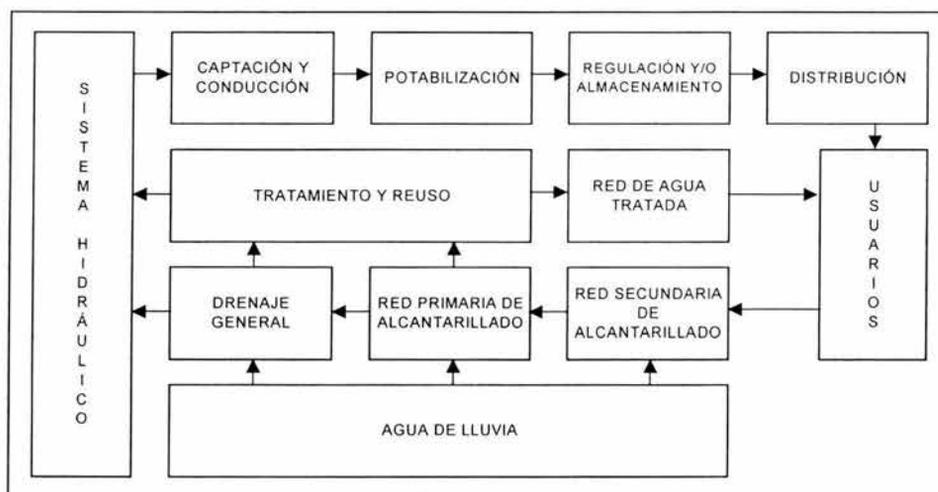
En el siguiente subcapítulo se describe lo que es un sistema de abastecimiento de agua potable en el cual se muestran los diferentes componentes desde la fuente de abastecimiento, pasando por los procesos de potabilización y conducción hasta su parte final que es el usuario.

1.4 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

El agua, ya sea aprovechada de la superficie o de fuentes subterráneas, debe ser transportada a la comunidad y distribuida a los usuarios para su utilización, después de lo cual, se convierte en agua residual por lo que es necesario evacuarla de las comunidades.

Al conjunto de medios utilizados para el suministro de agua potable (sistema de distribución de agua potable), y al desalojo de las aguas pluviales y residuales así como a su tratamiento (sistema de alcantarillado y saneamiento), se le conoce como lo mostrado en la Figura 1.4 “Sistema hidráulico urbano” y como lo que muestra la Figura 1.5 “Sistema de distribución de agua”.

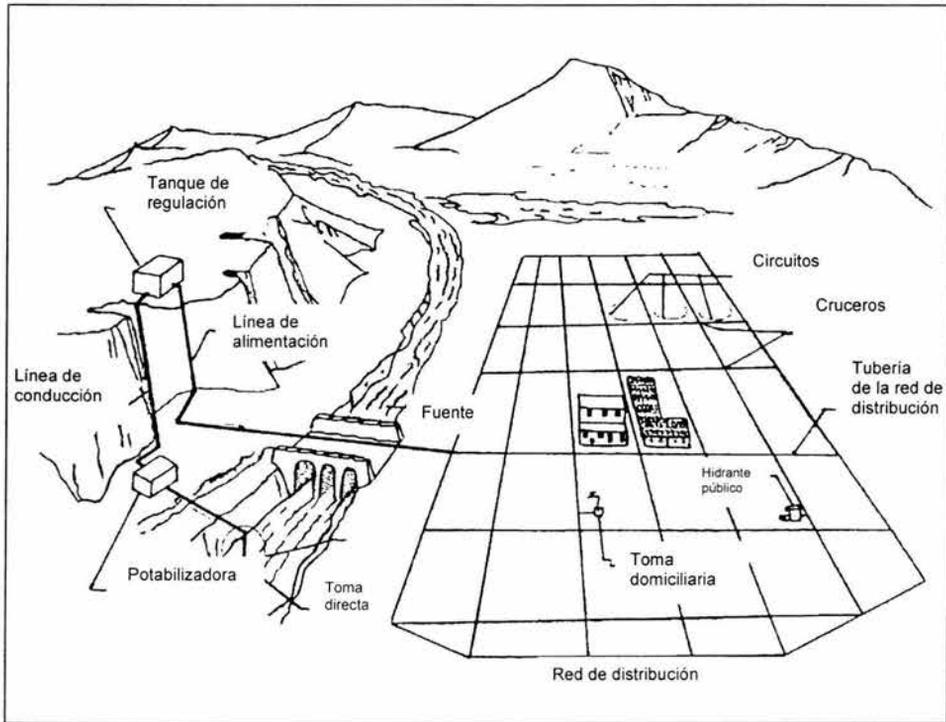
FIGURA I.4 SISTEMA HIDRÁULICO URBANO



I.4.1 ETAPAS DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Un sistema de distribución de agua potable está compuesto de las siguientes etapas:

FIGURA I.5 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA



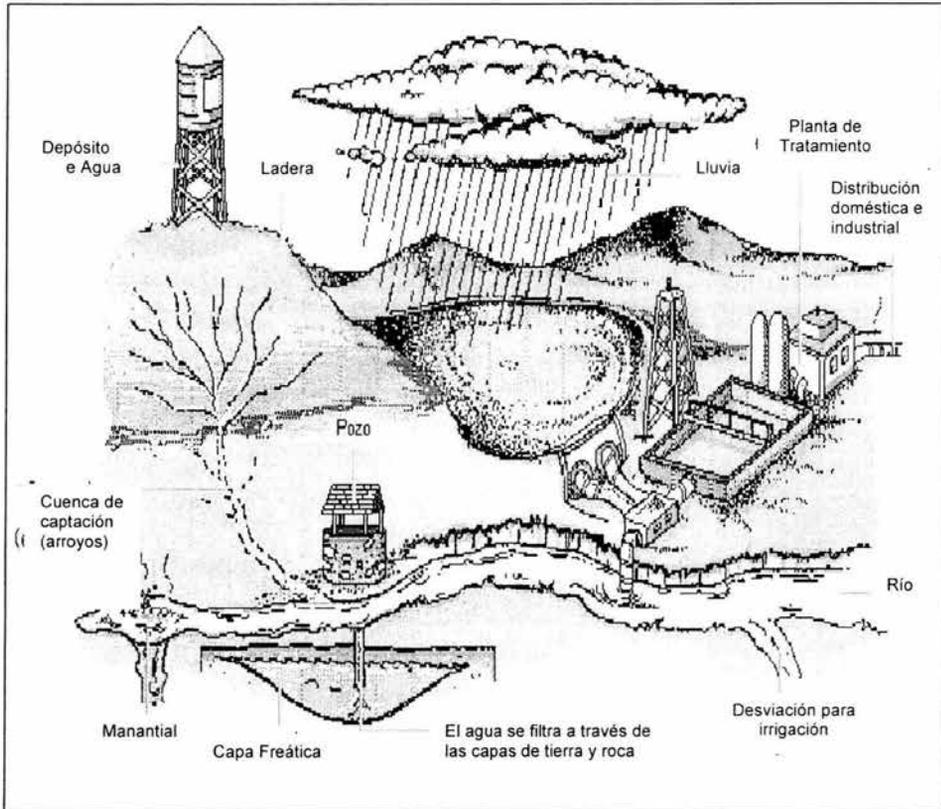
a) **Etapas de captación.** La captación es un conjunto de obras civiles y técnicas de aprovechamiento de agua que tienen como fin obtener un agua que cumpla con los requisitos mínimos de calidad de una fuente definida previamente como se ilustra en la Figura 1.6 "Distintas fuentes de abastecimiento de agua".

Existen diferentes tipos de obras de captación, que varían de acuerdo con la naturaleza de la fuente de abastecimiento, su localización, la cantidad de agua que puede suministrar, etc. Las fuentes de abastecimiento de agua más comunes que se pueden mencionar son las siguientes:

- 1) Aguas superficiales procedentes de manantiales y fuentes.
- 2) Aguas subterráneas procedentes de pozos a mayor o menor profundidad.

- 3) Aguas procedentes de contenedores superficiales naturales tales como ríos, lagos y pantanos o contenedores artificiales como son las presas.
- 4) Aguas que proceden de caudales previamente utilizados en las cuales se usan técnicas de reciclaje.
- 5) Aguas procedentes de la desalinización del mar.

FIGURA I.6 DISTINTAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA



Como se puede observar se ha hecho referencia a una serie de posibilidades muy amplia de las que se puede obtener agua y resolver el problema del abastecimiento de este elemento pero lo cierto es que, por razones tanto económicas como prácticas, las soluciones son reducidas. Las tomas de agua de los lagos, que es frecuente en algunos países, por razones tanto económicas como prácticas, las soluciones son reducidas.

Las tomas de agua de los lagos, que es frecuente en algunos países de Europa, así como las técnicas de desalinización de aguas marinas, que resultan costosas pero que son rentables y que serán imprescindibles en algún tiempo en la República Mexicana, son soluciones que no se han extendido.

Aunque se debe tener en cuenta que se ha tomado conciencia en el tratamiento y rehusó de las aguas, la verdad es que las aguas obtenidas por este método no gozan de la aceptación de toda la ciudadanía, a pesar de la gran calidad que los métodos modernos de tratamiento pueden lograr con las aguas residuales y que son usadas sólo en el riego de parques y jardines de las ciudades.

Generalmente en los casos más habituales las aguas superficiales son las primeras aguas que se utilizan para el abastecimiento de los núcleos en sus distintas modalidades, debido a que son visibles y de fácil disponibilidad. Sin embargo, tienen la desventaja de que pueden tener afectaciones por las variaciones del clima, la turbiedad, tener materias en suspensión, organismos vivos, oxígeno disuelto, mayores pérdidas por evaporación, todo esto sin contar que en ocasiones se requiere de un tratamiento complicado.

Esta agua mediante una obra de toma, son dirigidas hacia las conducciones bien sea con regulación, con la construcción de un embalse de mayor o menor tamaño, o bien sin regulación en caso de tratarse de pequeñas cantidades. Un ejemplo ilustrativo es como el que a continuación se presenta en la Figura 1.7 "Captación de Agua en Lagunas".

Las aguas subterráneas son las que fluyen o se almacenan en estratos impermeables constituyendo en este último caso los pozos. La Figura 1.8 "Captación de agua en pozos" muestra la estructura de los sistemas para captar el agua cuando se concentran en un punto al que confluyen las aguas ya sea de forma natural o artificial.

La superioridad que tienen las aguas subterráneas sobre las superficiales es que son más limpias, tienen una temperatura homogénea, y menor contenido de bacterias. Sin embargo se encuentran más mineralizadas que las superficiales y

frecuentemente poseen incorporadas una gran cantidad de tierra y arenas lo cual debe tenerse en consideración particularmente cuando su uso sea para la industria.

FIGURA I.7 CAPTACIÓN DE AGUA EN LAGUNAS

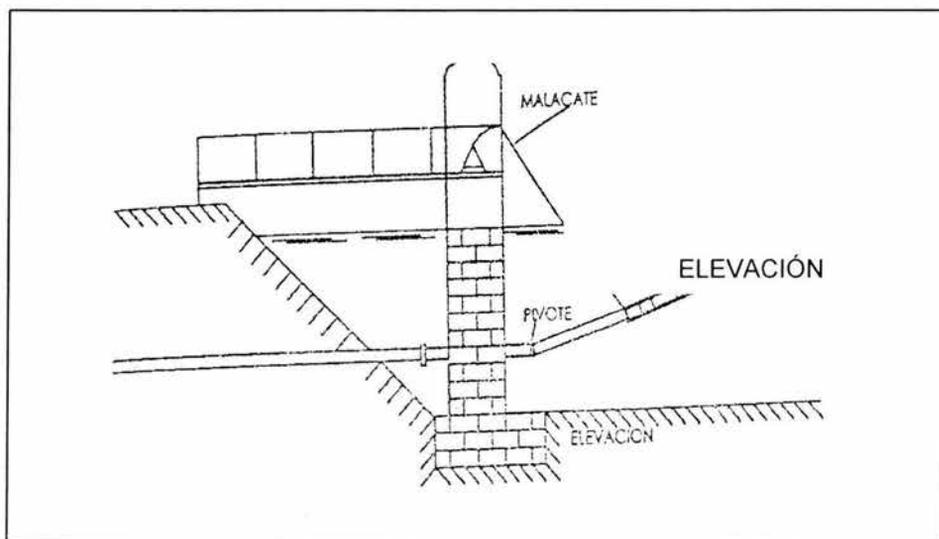
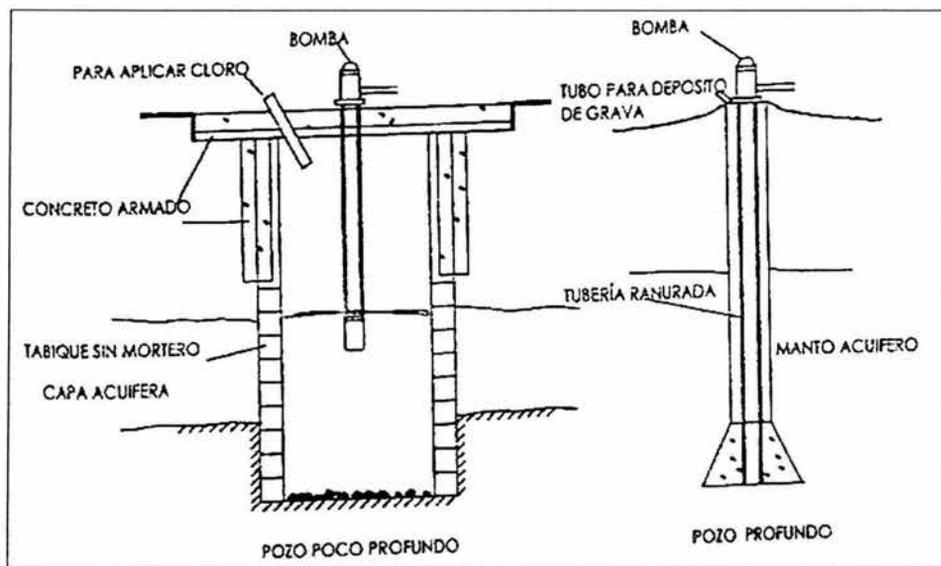
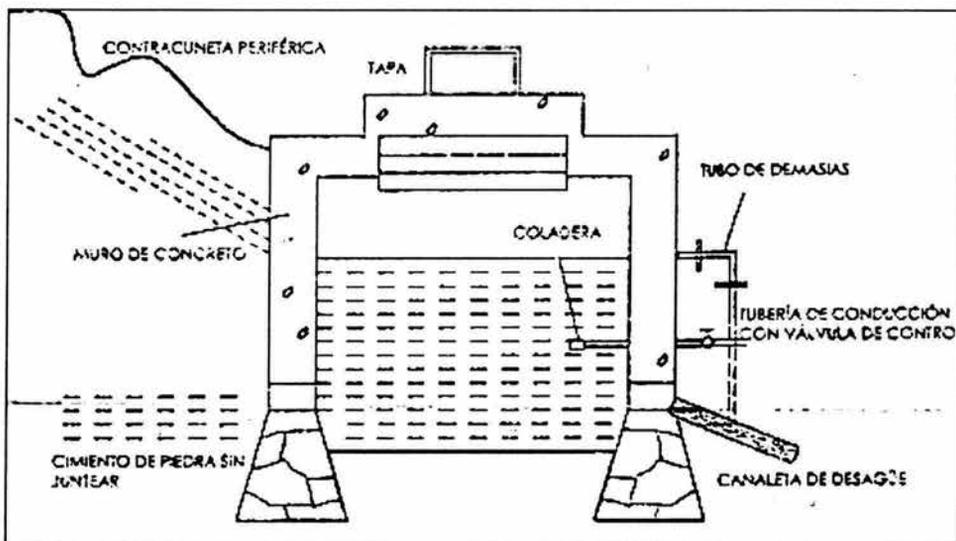


FIGURA I.8 CAPTACIÓN DE AGUA EN POZOS



Cabe mencionar que en la mayoría de los casos de captación resulta más barata que las de las fuentes superficiales. Las aguas de los manantiales forman una verdadera telaraña formada por filamentos hidráulicos frecuentemente muy finos y de escaso caudal por lo cual es necesario realizar obras de captación especiales para obtener caudales adecuados, especialmente en periodos de estiaje, y retener las aguas que escurren en periodos de lluvia ya que este tipo de abastecimiento se caracteriza por la irregularidad de su caudal, como se observa en la Figura I.9 “Captación de Agua en Manantiales”.

FIGURA I.9 CAPTACIÓN DE AGUA EN MANANTIALES



b) Etapa de conducción. En la mayoría de los casos, la fuente de abastecimiento esta situada a una distancia más o menos grande de la población a la cual se va a abastecer, por lo que es necesario transportar el agua en conductos abiertos o cerrados, proporcionándose la energía necesaria por gravedad o bombeo, lo que se conoce como línea de conducción. Está constituida por tuberías o canales que transportan el agua desde las fuentes de abastecimiento a los núcleos urbanos para su tratamiento y consumo. Cuando se realizan mediante conducciones a presión se denominan habitualmente “distribución de alta” debido a la elevada presión originada por las estaciones de impulsión en esta etapa de transporte.

Las líneas de conducción están constituidas por tramos rectos y curvos para ajustarse a la topografía del sitio del proyecto y por diversos elementos que ayudan por un lado a controlar el flujo en la tubería y por el otro a proteger el funcionamiento de la línea de conducción para que sea eficiente. Entre los dispositivos de control y protección que se ocupan en estos sistemas se encuentran las juntas flexibles, válvulas eliminadoras de aire, válvulas de retención, válvulas de compuerta, válvulas de mariposa, válvulas de globo, válvulas de alivio contra golpe de ariete, válvulas de desagüe, etc., indispensables cuando existe un equipo de bombeo.

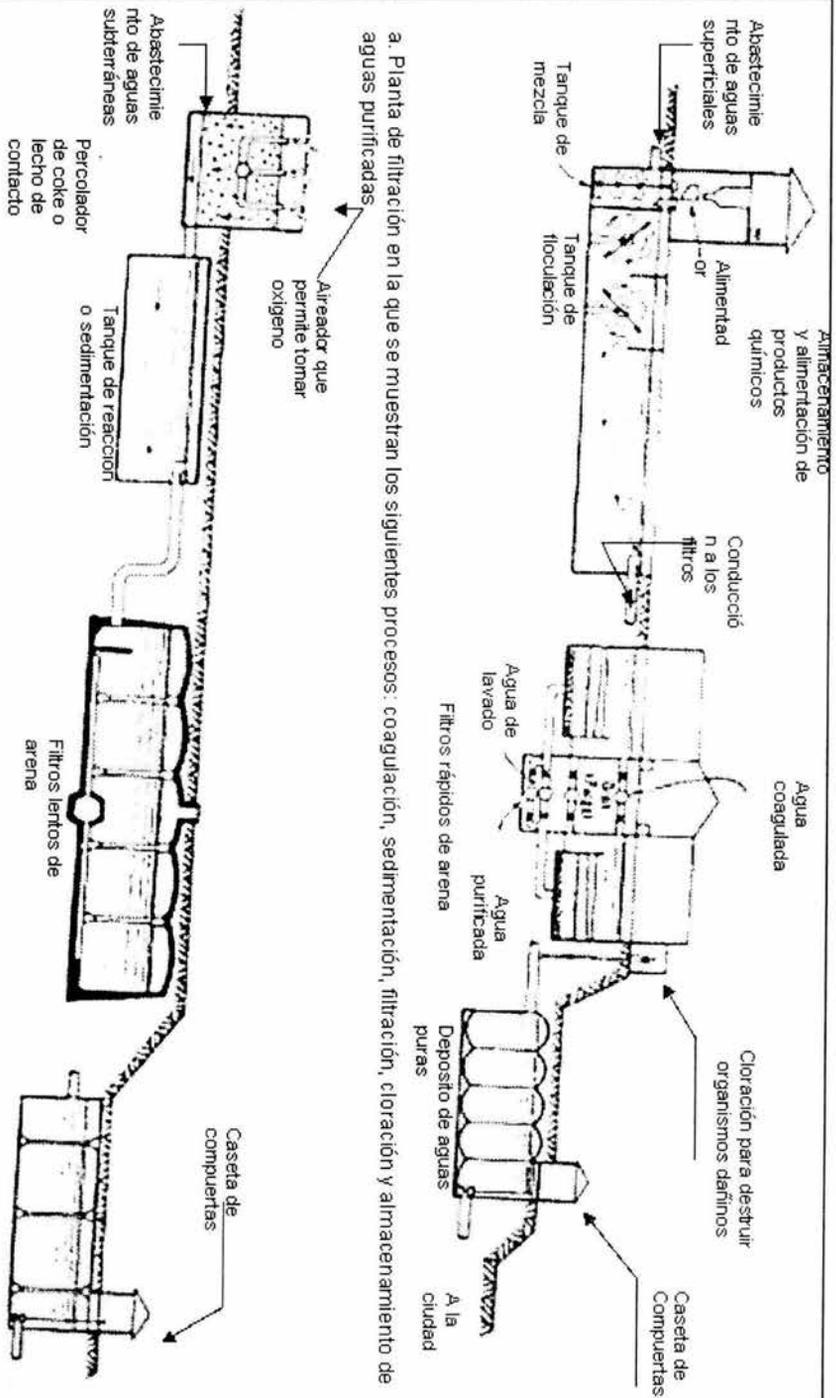
Los materiales que actualmente se usan en la fabricación de las tuberías de conducción son, fundamentalmente, tuberías metálicas (acero y fundición dúctil), concreto armado, concreto presforzado y las de plástico o polímeros (polietileno y Cloruro de Polivinilo). Cuando se construyen canales abiertos, existe la posibilidad de utilizar materiales baratos y ahorrar con ello el costo de la cubierta; sin embargo se presentan varias desventajas tales como el peligro de la contaminación del agua, pérdidas fugas y evaporación, el ajuste al gradiente hidráulico, etc.

c) Etapa de potabilización o tratamiento. El sistema público de abastecimiento de agua potable deberá proveer a la comunidad, agua de buena calidad bajo las propiedades física, química, biológica y bacteriológica, no importando su procedencia. Para ello y en función de las características cualitativas del agua proveniente de las estaciones de captación, se deberá proceder a la potabilización del agua a través de las instalaciones denominadas estaciones de tratamiento.

Una estación de tratamiento o planta de tratamiento es una obra de ingeniería civil con las unidades necesarias para modificar favorablemente las características de calidad del agua. La planta de tratamiento es diseñada para tratar agua cruda proveniente de cualquier tipo de fuente. Dependiendo de la calidad del agua cruda y de la calidad final deseada, serán necesarios uno o más procesos. En los casos habituales a los que debe orientarse un abastecimiento moderno el tratamiento de agua debe incluir las siguientes fases:

Captación. Lleva de forma sistemática a una primera filtración, mediante rejillas con barrido automático para evitar la entrada de partículas gruesas y cuerpos flotantes de tamaño importante.

- **Clarificación.** Consiste en un simple almacenamiento y sedimentación, es decir, sin aditivo alguno se almacena o disminuye la velocidad del flujo del agua a tal grado que se permita la sedimentación de partículas sólidas, lo que resulta insuficiente de tal forma que en tratamientos complejos ésta fase se omite.
- **Floculación y decantación.** Aunque normalmente son un conjunto de fases diferentes, su objetivo es, clarificar y depurar el agua eliminando las partículas coloidales como los micro contaminantes y microbios, constituyendo una fase imprescindible cuyo resultado final es la obtención de un agua limpia y un fango sedimentado que se elimina por purgas periódicas a las instalaciones.
- **Filtración.** En esta fase se obtiene una definitiva eliminación de las partículas remanentes mediante su paso a través de cuerpos porosos constituidos por lechos de arena de granulometría variable reteniendo al mismo tiempo microorganismos con lo cual se realiza simultáneamente una cierta operación de desinfección. El agua obtenida a la salida de los filtros presenta ya características de un agua potable pero es necesario una última etapa para eliminar los organismos patógenos.
- **Esterilización.** La última etapa que se sigue practicando de forma sistemática, se realiza mediante la adición de cloro en sus diferentes formas (gas, cloraminas, hipoclorito sódico, etc.), el cual debido a su acción fuertemente oxidante destruye la materia orgánica así como determinados componentes que se encuentran en las conducciones, tiene la desventaja de añadir un olor y sabor desagradables al agua. La filtración más moderna y eficaz se logra, sin duda, con la aplicación de ozono en el agua, ya que pese a ser más costoso no produce olor ni sabor al agua produciendo una esterilización que logra la total eliminación de los virus e incluso mejorando el sabor del agua.



a. Planta de filtración en la que se muestran los siguientes procesos: coagulación, sedimentación, filtración, cloración y almacenamiento de aguas purificadas

b. Planta de desinfección que muestra los procesos de aeración, tratamiento por contacto, filtración y almacenamiento de aguas puras

d) Etapa de regulación y almacenamiento. Está constituida principalmente por los depósitos de agua los cuales constituyen el almacenamiento del líquido como reserva particularmente imprescindible para regular en las horas de mayor consumo pero también para que la circulación y dimensionamiento de las conducciones se pueda llevar a cabo con las debidas condiciones de economía y seguridad.

La planta de tratamiento requiere de un depósito específico debido a que su uso correcto exige un caudal constante y como el ciclo de aguas abajo es variable en función de la demanda, es evidente la necesidad de disponer de un depósito regulador que actúe como compensador de la estación de tratamiento.

Dependiendo de su configuración y su posición con relación a la red de agua potable, los depósitos pueden ser de la siguiente forma:

Depósitos enterrados. Son depósitos que tienen la ventaja de resultar bien aislados térmicamente, con lo que el agua se mantiene a temperatura prácticamente constante, pero tienen el inconveniente de hacer más difícil y costosa la salida de tuberías y desagües.

Depósitos superficiales. Son más fáciles de construir y vigilar, pero es preciso, dotarlos de un aislamiento térmico eficaz.

Depósitos elevados. Este tipo de depósitos se imponen cuando la topografía del terreno lo exige, y la forma casi exclusiva que se adopta para ellos es la cilíndrica. Básicamente los depósitos de distribución se dimensionan para satisfacer las condiciones siguientes:

- Funcionar como puntos de control de la distribución, atendiendo la variación horaria de consumo.
- Asegurar un reserva para atender emergencias (incendios, accidentes, reparaciones en las instalaciones, etc.).
- Atender la demanda en caso de interrupción de energía eléctrica (cuando se trata de sistemas a base de bombeo).

- Mantener las presiones del flujo del agua en la red de distribución.

e) Etapa de distribución. Esta etapa la constituyen los sistemas de conducción urbana propiamente dicha los cuales parten de los tanques de regulación y que tienen la finalidad de alimentar los sistemas hidráulicos de servicio público (red de distribución y tomas domiciliarias), así como los ramales de los usuarios particulares.

La principal finalidad de un sistema de distribución es suministrar el agua en cantidad suficiente, adecuada, con la presión requerida en toda la zona que se esta abasteciendo, con un servicio continuo y que el costo sea accesible a la economía de los usuarios. Es decir, debe cumplir las siguientes condiciones:

- El sistema de distribución de agua debe ser diseñado para funcionar durante el tiempo suficiente con la presión adecuada en cualquier punto de la red.
- La seguridad ofrecida por el agua debe ser mantenida en toda la red sin alteración de cantidad.
- El sistema debe incluir registros y dispositivos de descargas siempre que haya necesidad, sin interrupciones perjudiciales para el abastecimiento.
- El sistema deberá estar protegido contra contaminación externa, los depósitos deberán estar cubiertos y se deberá evitar cualquier posibilidad de introducción de agua de calidad inferior en la red.
- Las pérdidas en las tuberías deberán ser limitadas a los valores normales o aceptables, también deberán ser evitadas las tuberías sumergidas en líquidos contaminados.
- La red debe ser mantenida en condiciones sanitarias, evitándose todas las posibilidades de contaminación, durante la ejecución de reparaciones, sustituciones, y prolongamientos.
- Por ocasión del asentamiento de nuevas tuberías y de las reparaciones en las líneas existentes se deberá proceder a la desinfección de las tuberías con una solución concentrada de cloro (50 mg de cloro por litro de agua), durante 24 horas. Después de este periodo, esa solución es descargada y

se llenan las tuberías con agua limpia. Esa operación puede y debe ser controlada mediante exámenes bacteriológicos.

- Siempre que sea posible, las tuberías de agua potable deben ser asentadas en zanjas situadas a más de 3 metros de distancia alejadas de las alcantarillas. En los cruces, la distancia vertical no deberá ser inferior a 1.80 metros. Cuando no sea posible guardar esta separación, se recomiendan cuidados especiales para protección de las tuberías de agua contra la contaminación provocada por las alcantarillas. Estos cuidados pueden incluir revestimientos de los conductos de alcantarillas con cemento o empleo de tubos de fierro fundido con uniones de plomo.

El principal elemento del sistema de abastecimiento de agua, es la red de distribución del agua, por lo que más de la mitad de la inversión financiera total del sistema es invertido en la red. Por lo que se hará mayor hincapié en ésta.

1.4.2 RED DE DISTRIBUCIÓN

Se le llama así al conjunto de tuberías que son instaladas en las calles de la localidad, mediante las cuales se entrega el agua a los usuarios. Las tuberías se conectan entre sí por medio de piezas especiales en los cruceros, y se aíslan mediante válvulas de seccionamiento, que permiten operar adecuadamente el sistema e impedir el flujo de agua hacia algún sector en caso de fugas mientras se reparan los daños, o por otras necesidades del servicio, El agua se entrega a los consumidores mediante tomas domiciliarias provistas de medidores que reportan el consumo de agua.

Según la estructuración en planta de la red, se pueden clasificar en las siguientes:
Redes ramificadas, malladas o mixtas.

Red ramificada o red abierta. Consta de una tubería principal o tubería maestra (también conocido como ramal primario) de donde parten ramales secundarios, y de estos otros de tercer orden y de ellos otros cada vez de menor diámetro. Cada punto de la red recibe el agua por un solo lado, de manera que si ocurre una avería en un punto determinado, todo componente de la red posterior al punto

averiado queda desabastecido, lo cual además de la incomodidad puede acarrear, en caso de incendio, graves daños. Al final de los ramales extremos, donde el consumo es en ocasiones reducido, el agua se estanca y puede perder sus cualidades debido a la formación de depósitos en el interior de las conducciones.

La distribución ramificada se aplica solamente en el caso de que no sea posible enlazar los extremos de las conducciones para constituir la red cerrada. En pequeñas poblaciones es general el sistema ramificado, porque en ellos suelen faltar caminos de enlace para los ramales extremos y además no resultaría económica la instalación de tuberías que los uniera en la periferia del lugar.

En el sistema de red de abastecimiento mallado o cerrado cada punto de demanda puede estar alimentado por varios caminos hidráulicos, pudiendo incluso variar en ello el sentido de la circulación de la red. Son evidentes las ventajas de este suministro particularmente cuando existen tomas contra incendios cuyas demandas y exigencias son grandes porque se ofrece una gran seguridad en el servicio al poder circular el líquido en sentidos contrarios al lugar donde se solicita, se puede así aislar sectores para realizar mejoras, reparaciones, etc., sin grandes repercusiones en el conjunto de los restantes edificios del núcleo.

Así mismo se puede obtener con las redes malladas un reparto más uniforme y equilibrado de red ramificada y una red mallada, en la cual las tuberías principales se unen en circuitos cerrados o en mallas mientras que las tuberías secundarias son ramales de distribución. También se cuenta entre otros elementos que integran la red con: tuberías, válvulas de regulación, tipos de uniones, las tomas domiciliarias, etc. las presiones en el conjunto de los puntos de consumo.

Redes mixtas. Son en realidad, una solución intermedia de los dos tipos de red anteriores, ésta se obtiene mediante una combinación de las disposiciones de una red ramificada y una red mallada, en la cual las tuberías principales se unen en circuitos cerrados. También se cuenta entre otros elementos que integran la red: tuberías, válvulas de regulación, tipos de uniones, tomas domiciliarias, etc.

I.4.3 TUBERÍAS Y ACCESORIOS

Las tuberías están construidas comúnmente por materiales como: concreto reforzado, asbesto cemento, hierro dúctil, acero o plástico y se localizan principalmente bajo la superficie del terreno solo lo necesario para evitar otras estructuras superficiales. En sitios en los cuales las cotas del terreno y tuberías varían por grandes cantidades, las altas presiones en puntos bajos pueden ser evitadas rompiendo la línea de gradiente hidráulico con estructuras vertedoras, reservas auxiliares o instalando válvulas especiales para reducir la presión.

Al seleccionar el tipo de material o el tamaño de la tubería que se va a usar, se debe considerar la capacidad de carga, la durabilidad, el costo de mantenimiento y el costo inicial. Las características del agua y su efecto potencial sobre tuberías de diferentes materiales es también una consideración importante.

- **Tipos de tuberías**

A continuación se realizará una descripción de los materiales que más se usan en la fabricación de las tuberías que se ocupan en las redes de distribución de agua potable.

a) Tuberías de hierro. La tubería de hierro ha sido la más usada para la transportación de agua por más de 300 años ya que tuberías de hierro fundido instaladas en el año de 1664 en Versalles, Francia aún siguen en uso. En las construcciones nuevas, el hierro dúctil ha remplazado en gran parte al hierro fundido, ya que por resistencia es más liviano y menos frágil, aunque son de paredes delgadas, la tubería de hierro dúctil tiene el mismo diámetro externo que una de hierro fundido del mismo tamaño nominal. A pesar de su mayor capacidad hidráulica, ésta puede entonces usarse combinándolas a las dos, así como también es posible usarla con accesorios de este mismo material. El hierro dúctil es producido agregando una aleación de magnesio a un hierro de muy bajo contenido de fósforo y azufre. La micro estructura cristalina resultante es muy diferente a la que es elaborada para tuberías de hierro fundido gris por sus características de resistencia, dureza y ductilidad.

Está tubería es fabricada fundiéndola en moldes que son rotados sobre su eje longitudinal son fabricadas en diferentes diámetros y en longitudes de 5.5 m (18 pies). También se fabrican accesorios que son fundidos en moldes de arena con patrones sólidos y núcleo de cajón. Los accesorios estándares incluyen codos en diferentes ángulos, tees, cruces, reducciones concéntricas y excéntricas, curvas, yees, accesorios reductores y una gran variedad de piezas especiales, como son: camisas de pared, galápagos campanas y cajas de válvulas.

La tubería de hierro es extremadamente durable ya que llegan a tener una vida de duración aproximada de 100 años. Sin embargo tiene una desventaja ya que es vulnerable a la corrosión, la cual puede presentar un fenómeno llamado tuberculación, en el cual el interior de tubería es revestido por incrustaciones de óxido, reduciendo su diámetro e incrementando su rugosidad relativa. La combinación de estos la combinación de estos efectos produce una reducción en la capacidad hidráulica del 70% y en algunas ocasiones llegan a taparse. Por esta razón no es raro ver tuberías revestidas de cemento para evitar dichas causas.

El revestimiento con cemento consiste en una mezcla 1:2 de mortero con cemento Portland, el cual es aplicado en forma centrífuga y disminuido ligeramente en los bordes. La tubería puede ser curada revistiéndola con una mezcla de sellante bituminoso o también almacenando la tubería en un ambiente húmedo. La tubería revestida con cemento mantiene buenas propiedades hidráulicas y no se deteriora con el tiempo, siempre y cuando el revestimiento esté intacto. Los cortes normales o los procedimientos de pegado no causan daño a las tuberías y se ha mostrado que las pequeñas grietas se auto reparan cuando se ponen en contacto con el agua.

La corrosión externa de la tubería de hierro rara vez es un problema grave debido al gran espesor de su pared. En condiciones de suelos desfavorables la tubería puede ser encajada en tubos de polietileno a medida que la construcción avanza. Al utilizar esta técnica se ha demostrado que los resultados son muy efectivos para proteger la tubería contra la corrosión externa.

b) Tuberías de acero. La tubería de acero puede ser usada para tuberías que conducen agua potable, particularmente en circunstancias donde las dimensiones de las tuberías son largas y las presiones altas. En tales circunstancias, el acero tiene ventajas económicas ya que es más resistente, y por consiguiente, más liviano para una resistencia dada. La tubería de acero, peso por peso, es más barata que la tubería de hierro, más fácil de transportar y de habilitar. En las condiciones más comunes de uso, puede ser susceptible a fallas debido a las presiones negativas desarrolladas durante las condiciones más desfavorables, ya que sus paredes relativamente delgadas se colapsan con facilidad, haciendo también más probable que, en comparación con las de hierro las tuberías de acero sufran más daños estructurales debido a la corrosión.

Bajo condiciones favorables, su vida puede sobrepasar los 50 años. Entre las condiciones que le son desfavorables a este tipo de tuberías se encuentran el agua y suelo corrosivos. La tubería de acero moderna es colocada mediante soldadura, pero la tubería remachada con cierre de barras todavía se encuentra en uso en sistemas más viejos. Es probable que dichas tuberías tengan algunos escapes de agua en las uniones como resultado de la corrosión o deterioro.

La tubería de acero debe ser limpiada de cualquier residuo de fabricación y después debe revestirse con brea o esmalte bituminoso. Las fallas u otros defectos en el revestimiento causadas por el manejo e instalación de la tubería deben ser reparados antes de que ésta sea puesta en servicio. Todos los revestimientos tienden a perder elasticidad y adhesión con el tiempo, y algunos son permeables al agua bajo grandes presiones. Por estas razones, el revestimiento puede ser necesario con intervalos regulares. El revestimiento interior y exterior con mortero de cemento Portland ha demostrado proveer de buena protección contra la corrosión externa e interna, incrementando la resistencia al colapso y mejorando las propiedades hidráulicas.

c) Tuberías de concreto. A continuación se mencionan las tuberías de concreto armado y de concreto presforzado las cuales son usadas en la transportación de agua, las primeras son fabricadas revistiendo un alambre de alta resistencia a la

tensión alrededor de un cilindro de acero que ha sido revestido con cemento colocado centrífugamente. El alambre es enrollado fuerte para pretensar el núcleo y es cubierto con un revestimiento exterior de concreto, las tuberías de concreto presforzado están armadas con acero de refuerzo el cual es tensado después de haber sido revestidas de concreto.

Cuando se tiene una tubería con presiones bajas, una tubería similar se fabrica sin el alambre pretensado. La tubería de concreto es fabricada en longitudes que varían desde 3.7 m hasta 4.9 m (12 a 16 pies) y es calibrada para resistir presiones estáticas de hasta 2,700 kilo pascales (400 libras por pulgada cuadrada). Las uniones constan de anillos circulares de acero, los cuales son sellados con un empaque de caucho.

Los anillos de acero pueden soldarse entre sí si se necesita desarrollar resistencia al empuje en la unión. Las secciones adyacentes pueden ser inclinadas para permitir una curvatura gradual, o se pueden usar secciones hechas especialmente con bordes acanalados. Estas últimas permiten ángulos de inclinación de hasta 50°.

Los accesorios pueden ser fabricados de la misma manera como se hacen las tuberías o pueden ser fabricados en sitio con concreto reforzado. La tubería de cilindro de concreto es en general fabricada específicamente para proyectos particulares, de ahí que las secciones especiales no sean difíciles de conseguir. La tubería de concreto (excepto en el caso de aguas ácidas) no está sujeta a corrosión y no sufre pérdida en la capacidad hidráulica con el tiempo. Un tiempo razonable de su vida de servicio es de 75 años.

d) Tuberías de asbesto-cemento. Estas tuberías están compuestas de una mezcla de cemento Portland y fibra de asbesto; se fabrica sobre el eje de un horno rotatorio de acero para luego ser compactada con cilindros de presión también de acero. Esta tubería ha sido usada por más de 60 años en Europa Occidental y en los Estados Unidos de América. Más de 2.4 millones de kilómetros están en

servicio en todo el mundo. Como tiene una superficie interna demasiado lisa sus características hidráulicas son excelentes.

El asbesto ha demostrado ser cancerígeno cuando las fibras son inhaladas y existe alguna evidencia, aunque discutible, de que las fibras de asbesto en el agua pueden también causar cáncer intestinal. No ha sido establecida ninguna norma obligatoria para el uso de asbesto en el agua al menos desde 1989. Fibras de asbesto han sido encontradas en algunas aguas naturales y pueden ser removidas de las tuberías de asbesto-cemento por aguas muy agresivas, es decir, aquellas que disuelven el mismo cemento. Algunos servicios públicos de agua ya no usan tuberías de asbesto-cemento en las nuevas construcciones.

Para las tuberías asbesto-cemento se pueden usar los accesorios de las tuberías de hierro ya que los diámetros de las dos tuberías es idéntico. Pequeñas conexiones son hechas mediante espigos, al igual que en la tubería de hierro. Las uniones constan de fundas cilíndricas que se ajustan sobre los bordes de las secciones adyacentes.

Tanto la tubería como las fundas son acanaladas para retener los anillos de caucho, los cuales sirven como empaques. Las uniones pueden ser inclinadas hasta 120°.

e) Tuberías de plástico. Entre los materiales con los que se fabrican las tuberías también se cuenta con el plástico estas tuberías pueden ser de materiales sólidos como de fibra reforzada. La tubería de plástico es ampliamente usada tanto en la plomería doméstica como en sistemas de distribución de agua, ya que es mucho más fácil de manejar e instalar, y en general es más económico que los materiales tradicionales como el hierro y el concreto. El comportamiento de estos materiales a largo plazo solo puede ser establecido con el paso del tiempo. El flujo frío, las cristalizaciones por tiempo, o los esfuerzos en la instalación puede afectar el servicio del plástico a largo plazo.

Algunos fabricantes ofrecen una garantía promedio de 25 años tanto para el material como para el funcionamiento. La American Water Works Associations

cuyas siglas son (AWWA) ha establecido normas para tuberías de cloruro de polivinilo (PVC), polietileno, poli butileno y para tuberías de resino termo fraguada reforzada con fibra de vidrio.

1) Accesorios: válvulas y uniones.

Existen en el mercado actualmente una gran variedad de válvulas y accesorios especiales que son usados en los sistemas de distribución de agua, en puntos bajos en el sistema, son provistas ramificaciones con válvulas de desagüe para drenar la línea y permitir la remoción de sedimento. En los puntos altos de la línea éstos se deben mantener por debajo del gradiente hidráulico, ya que la presión negativa en tales sitios llevará a la acumulación de gases que eventualmente pueden bloquear el flujo. Los puntos altos deben ser provistos de válvulas de vacío y ventosas para admitir aire cuando la línea esté siendo desocupada y expulsar el que está en un principio en la línea o el que se acumuló durante el uso. La admisión de aire es particularmente importante en tuberías de pared delgada (tubería de acero), las cuales pueden colapsar bajo cargas de compresión.

1a) Tipos de válvulas. Antes de hablar sobre los tipos de válvulas primero se debe saber que una válvula es un elemento mecánico empleado generalmente en combinación con un recipiente sometido a presión, con el objeto de suspender por completo el flujo, o bien para dar paso al gasto del mismo.

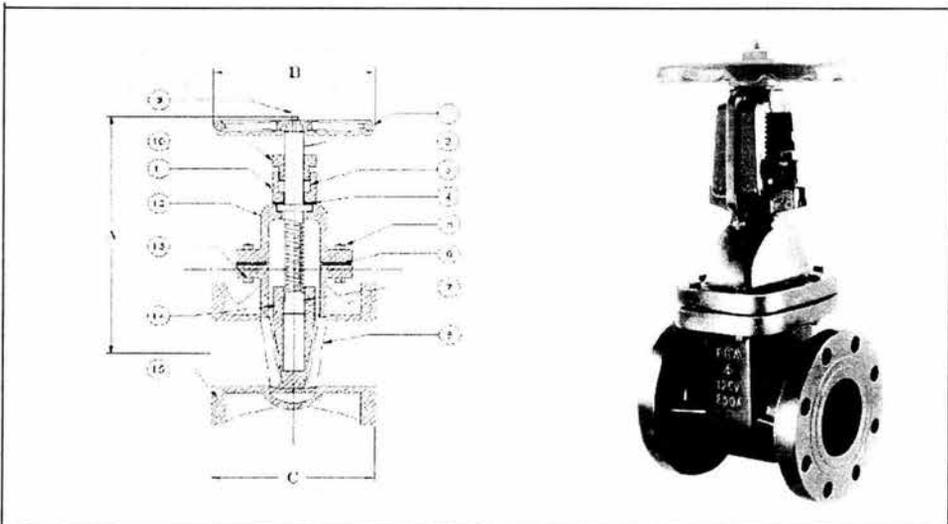
La selección de las válvulas incluye muchos factores pero se deben considerar, como mínimo, las siguientes características básicas: Tipo de válvula, materiales de construcción, capacidades de presión y de temperatura, instalación y mantenimiento.

Por ser de bajo costo y por ofrecer cierres relativamente seguros las válvulas de compuerta están localizadas a intervalos regulares por todo el sistema de distribución para que los daños en el sistema puedan ser aislados con facilidad. Es aconsejable acomodar todas las válvulas en pozos de inspección, aunque las válvulas más pequeñas puedan ser enterradas, con accesos que sean provistos de una válvula de caja de metal o plástico. Las válvulas de compuerta son

fabricadas con terminaciones de rosca, de bridas, campanas y espiga, o combinadas.

Las válvulas que son operadas con frecuencia, como las de las plantas de tratamiento, deben ser diseñadas para ser resistentes al uso y son a menudo provistas con servidores hidráulicos o eléctricos. La mayoría de éste tipo de válvulas como la que se muestra en la Figura I.10 "Válvula de compuerta" operan apropiadamente sólo cuando se instalan en posición vertical. Para otras aplicaciones se pueden proveer válvulas especiales con ranuras para el disco.

FIGURA I.10 VÁLVULA DE COMPUERTA

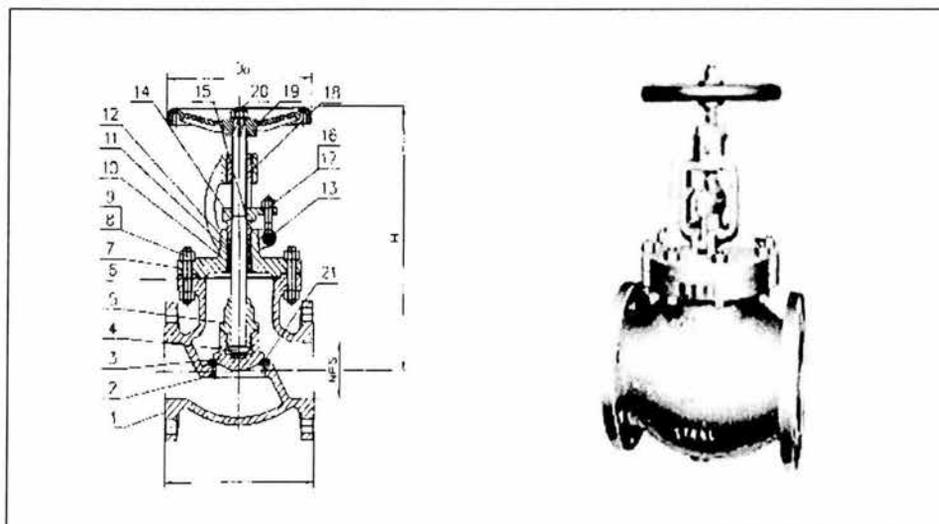


Las válvulas más grandes (de 200 mm a 300 mm), inclusive a baja presión, están sujetas a mayores esfuerzos cuando están en posición cerrada. Los servidores de engranaje y pequeñas válvulas de derivación pueden ser usadas en tales casos. Estas últimas igualarán la presión en la válvula principal y reducirán el potencial para el golpe de ariete cuando la válvula mayor sea cerrada.

Las válvulas de globo y de ángulo son poco usadas en sistemas de distribución de agua. Su principal aplicación es en plomería doméstica donde su bajo costo

importa más que sus pobres características hidráulicas. En la siguiente Figura I.11 "Válvula de globo o de ángulo", puede observarse sus componentes:

FIGURA I.11 VÁLVULA DE GLOBO O DE ÁNGULO



Las válvulas de tapón constan de un tapón cónico que gira en una base cónica, Cuando la válvula está abierta, un hueco en el tapón coincide con los agujeros en la base y estos, a su vez son extensiones de la tubería en la cual la válvula es colocada. Tales válvulas, cuando están abiertas, no ofrecen prácticamente resistencia al flujo.

Los preventores (check) de contra flujo son válvulas automáticas que están diseñadas para impedir la contaminación de los abastecimientos de agua por bajas de presión desfavorables, las cuales pueden causar reversiones de flujo, éstas usan una doble válvula de cheque o válvulas reductoras de presión positiva. Las primeras se cierran cuando el flujo de regresa y las ultimas cuando la presión cae proveyendo así un margen de seguridad adicional. El tipo usado depende de la aplicación y del riesgo al público en general.

Las válvulas de mariposa son usadas con más frecuencia tanto en aplicaciones de baja como de alta presión. En grandes tamaños, son sustancialmente más

económicas, más compactas, más fáciles de operar y están sujetas a menor desgaste que las válvulas de compuerta, sin embargo con el paso de los líquidos que contienen materiales sólidos se podrían tapar impidiendo su buen funcionamiento. Dicha válvula se observa en la Figura I.12 “Válvula de mariposa”.

FIGURA I.12 VÁLVULA DE MARIPOSA



Las válvulas expulsoras de aire son usadas en las redes de abastecimiento de agua, éstas se colocan en tuberías largas para permitir la salida del aire que se acumuló en puntos altos y para impedir las presiones negativas desde la construcción cuando las líneas son drenadas. Éstas válvulas operan de manera automática; se abren para dejar salir el aire acumulado y se cierran cuando la tubería está llena de agua. Tales válvulas son del tipo como la que se presenta en la Figura I.13 “Válvula expulsora de aire”.

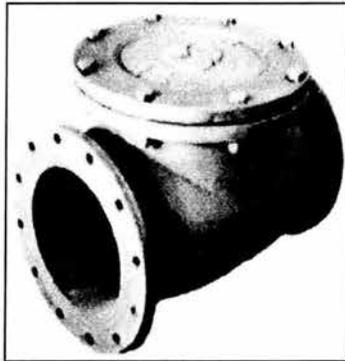
FIGURA I.13 VÁLVULA EXPULSORA DE AIRE



Las válvulas reguladoras de presión reducen automáticamente la presión aguas abajo hasta cualquier nivel deseado. Estas válvulas funcionan usando la presión aguas arriba para disminuir el flujo a través de una abertura similar a la que presenta la válvula de globo. La válvula reguladora de presión o supresión se cerrará (o abrirá) hasta que la presión aguas abajo alcance el valor preestablecido.

También existen las válvulas check o de antirretorno que son las que permiten que el agua fluya en una sola dirección y son comúnmente usadas para impedir que el flujo del agua se regrese cuando las bombas son desconectadas. Las válvulas check instaladas al final de una línea de succión son llamadas válvulas de pie. Un ejemplo de tales válvulas es como la que se muestra en la Figura I.14 "Válvula check o de antirretorno".

FIGURA I.14 VÁLVULA CHECK O DE ANTIRRETORNO



1b) Tipos de uniones en tuberías. Las uniones o juntas se pueden definir como el procedimiento o sistema para unir dos tramos de tubo, manteniendo la solidez e impermeabilidad requeridas. Las juntas deben ser capaces de resistir los esfuerzos de ruptura y dislocación, que como consecuencia del movimiento del terreno, golpes de ariete, etc., pueden presentarse; han de ser elásticas si unen tubos rígidos o en general todos los tubos cortos, y por el contrario deberán ser rígidas si unen tubos elásticos y largos, claro está, dependiendo del tipo de tubería es la junta que se va a utilizar.

En las uniones campana y espiga las piezas macho y hembra estarán dotadas de un resalto, que sirve de elemento de sujeción del elemento de cierre, que se introducirá en el hueco dejado entre las dos piezas, en las se usa plomo como material sellante después de que la unión es envuelta con hilo de estopa, han sido en su mayoría reemplazadas por uniones a presión con empaques de caucho.

Estas últimas son más fáciles de ensamblar y menos probable que tengan escapes como resultado de desplazamientos que ocurran después de terminada la construcción. Ni las uniones campana y espiga así como las uniones a presión son capaces de resistir fuerzas longitudinales como las que se desarrollan en cambios de dirección. Por esta razón, tales uniones deben ser frecuentemente reforzadas con contrafuertes.

Las juntas por soldadura, aplicable principalmente a las tuberías de acero, se hace normalmente usando arco eléctrico. Cuando es una unión tope a tope, los tubos con sus extremos lisos se soldarán dejando una separación constante entre sus topes de 1 a 2 mm según sea el espesor de la tubería. Si el espesor del tubo es superior a 4 mm deberán obligatoriamente calibrarse y hacerles chaflán en los extremos. El ángulo del chaflán practicado a cada tubo será de 350 ó 450 grados.

En algunos casos, cuando el diámetro de un tubo es mayor que el otro, verificándose la penetración por giro de un tubo sobre otro, se procede a soldar la junta helicoidal resultante. El juego radial entre el abocardado y el tubo que se encaja en el mismo, así como la profundidad de penetración de un tubo en otro viene dado en la Tabla I.4 "Profundidad de abocardado en tuberías soldables".

La soldadura le da a la tubería un grado de solidez en todos sus puntos que puede tomarse como un 85% de la resistencia del tubo. Las tuberías plásticas de diámetros pequeños son unidas por soldadura disolvente de espigas cilíndricas. Las líneas de diámetros mayores tienen conexiones campana y espiga a presión, y son compatibles con los accesorios de hierro fundido.

**TABLA I.4 PROFUNDIDAD DE ABOCARDADO
PARA TUBERÍAS SOLDABLES**

DIÁMETRO INTERIOR	JUEGO RADIAL	PROFUNDIDAD DEL ABOCARDADO
(mm)		
40	1.0	45
60	1.0	50
80	1.0	50
100	1.5	55
125	1.5	60
150	1.5	65
175	1.5	75
200	2.0	80
225	2.0	85
250	2.5	90
275	2.5	95
300	2.5	105

Fuente: Manual de Diseño para Tuberías

Las uniones mecánicas están disponibles tanto con anillos de seguro como sin ellos. La unión sin seguro no puede resistir mucha presión y es a veces usada con barras de empate roscadas que transfieren las cargas longitudinales a secciones adjuntas con el fin de desarrollar más resistencia en el suelo.

Las uniones de rosca son rara vez usadas en tuberías salvo en aquellas que se encuentran en la distribución interna de edificaciones. La mayoría de las tuberías de hierro roscadas, usadas en proyectos de ingeniería a gran escala, están provistas de bridas.

La tubería bridada es fabricada roscando los bordes de la tubería y atornillando las bridas a los bordes. Las bridas son hechas con delgadas caras paralelas, insertándose un empaque para asegurar un ajuste hermético al agua. Tales

uniones son capaces de resistir tanto presiones como momentos y no permiten ninguna inclinación de las secciones de la tubería con relación a otra. Los acoples que permiten la acomodación de errores menores en alineación deben ser incorporados a la tubería con uniones bridadas. Esta unión nunca es enterrada, ya que la corrosión puede hacer difícil su posterior desmonte y el asentamiento del suelo puede causar la falla de la tubería misma, es aplicable a tuberías de acero o en tuberías de fundición.

Las uniones de bola flexibles permiten la inclinación de las secciones de unión hasta 15°. Un empaque de caucho asegura el sello hermético al agua en una unión por demás metálica. Este tipo de junta es usada en circunstancias en las cuales se prevén grandes deformaciones, particularmente en el cruce de ríos, donde secciones de unión son montadas en un planchón y bajadas por la borda en un proceso continuo.

La junta Gibault se compone de un anillo central de fundición que recubre los extremos de los tubos rectos a unir. Este anillo es bicónico para permitir una desviación sensible, y para obligar a los anillos de caucho a adherirse a la superficie de los tubos cuando aprietan las bridas, es ampliamente utilizada, tanto en tuberías de fundición como en las de fibrocemento y las de Cloruro de Polivinilo.

Los elementos de una junta Gibault son:

- Dos anillos de caucho blanco o vulcanizado o material plástico de sección circular y de diámetro exterior igual a la del anillo central en sus extremos.
- Dos bridas de fundición vaciadas de modo que abracen por completo los dos extremos de anillo.
- Varios empaques de cierre cuyo número varía según el diámetro de los tubos.

Las juntas Gibault permiten disponer dos tubos contiguos con un ángulo, lo que permite a su vez amoldarse a las alineaciones del trazado.

A continuación en el Capítulo II "Detección y recuperación de fugas en una red de distribución" se habla de las fugas que se presentan en las redes de Abastecimiento de Agua Potable.

CAPÍTULO II

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN UNA RED DE DISTRIBUCIÓN

CAPÍTULO II

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN UNA RED DE DISTRIBUCIÓN

Como se vio anteriormente y solo con el fin de precisar el tema de ésta tesis corresponde a la **Detección y Recuperación de Fugas en Redes de Distribución de Agua Potable** y está dividido en cinco capítulos que se numeran a continuación: Capítulo I Planteamiento del Problema, Capítulo II Detección y Recuperación de Fugas en una Red de Distribución, Capítulo III Sectorización de la Red de Distribución, Capítulo IV Impacto Ambiental de Proyectos de Sistemas de Abastecimiento y Capítulo V Proceso Constructivo para la Rehabilitación del Sector en Estudio.

Éste Capítulo II “Detección y Recuperación de Fugas en una Red de Distribución” comprende la definición, las causas y la clasificación de las fugas que se presentan en una red de distribución de agua potable, así como los métodos para su detección, prevención y corrección de fugas de agua potable.

Así mismo se presentan también los planes y estrategias para el desarrollo del sector hidráulico, elaborados por la Comisión Nacional del Agua (CNA) y emanado del Programa Nacional de Desarrollo (PND), elaborado por el Gobierno Federal. Por otra parte presenta la cobertura de los servicios de agua potable de las 13 regiones hidrológicas administrativas en que está dividida por la Comisión Nacional del Agua (CNA) en la República Mexicana.

II.1 FUGAS DE AGUA

Una de las principales causas de la escasez de agua en las grandes urbes del planeta, son las pérdidas por fugas de agua potable que se presentan tanto en las tuberías de conducción desde la fuente de abastecimiento hasta el lugar de recepción, como en las tuberías de las redes de distribución incluyendo válvulas,

bombas para agua, accesorios, etc., además de las fugas en las tomas domiciliarias y en sus instalaciones.

En general una pérdida de agua potable es la diferencia entre el agua producida y el agua facturada, que se entiende como el agua que se cobra a los usuarios mediante un recibo de pago en función de su consumo. Las causas de las pérdidas se pueden clasificar en técnicas y comerciales.

Las pérdidas técnicas son aquellas que como su nombre lo indica, se originan por problemas de carácter técnico, es decir en problemas de ingeniería, diseño o desgaste de los sistemas de abastecimiento; como son:

El autoconsumo que es el agua utilizada por las empresas encargadas del abastecimiento en el lavado de filtros de las plantas potabilizadoras y la limpieza de los tanques de almacenamiento.

La causa por submedición, es el agua consumida por los usuarios, que tienen un medidor y no puede ser facturada, ya sea porque el medidor no registra consumos de bajo caudal o porque el medidor ha perdido precisión a través del tiempo o porque éste se traba con la presencia de sólidos suspendidos en el agua y deja de registrar el consumo.

La tercera causa son las pérdidas por fugas, las cuales se pueden definir como el volumen de agua introducido en las tuberías de las redes de distribución que no llega a ser consumido por los usuarios, ya sea porque se filtra a la superficie desde los tanques de almacenamiento o directamente desde las redes de distribución.

Otra definición de fugas de agua es la salida no controlada del agua por cualquiera de los elementos del sistema de distribución del agua potable.

Ante la imposibilidad de incrementar la oferta de agua potable, con la misma rapidez con la que crece la demanda, se ha puesto mayor atención a la recuperación del agua perdida por la existencia de fugas. Las fugas de agua potable que ocurren en los sistemas de distribución es un problema serio en el

ámbito mundial por lo que se ha observado que resulta conveniente implantar un programa de detección y control de fugas.

Las fugas de agua potable tienen reflejos sociales y económicos en la población, ya que se trata de agua captada, bombeada, tratada, almacenada y distribuida que se pierde debido a fallas en el sistema de abastecimiento.

En la actualidad, se requiere de una política de prioridades para el control de las fugas, contando con un plan de emergencia y control de fugas, para lograr que se reduzca a un mínimo el tiempo promedio que transcurre entre el seguimiento de una fuga y su eliminación, es decir, a través de acciones eficaces, se busca reducir el volumen de agua perdido en cada fuga y la existencia de la misma desde el punto de vista técnico y económico.

La diferencia entre un sistema de distribución que cuente con servicio de detección, localización y reparación de fugas eficaz y un sistema donde hay deficiencias de esos servicios, no radica en la cantidad de nuevas fugas que surgen a diario, sino en la duración de las mismas. Las pérdidas ocurren fundamentalmente por concepto de:

Fugas

- En conducciones y redes de distribución de agua potable.
- En estaciones de bombeo.
- En plantas potabilizadoras.
- En tomas domiciliarias.

Derrames

- En plantas potabilizadoras.
- En tanques de almacenamiento de agua potable.
- En cajas de regulación.
- Cárcamos de bombeo.
- Canales de conducción.

Consumos en procesos excesivos

- Lavado de filtros de plantas potabilizadoras.
- En las purgas de la conducción de las redes de distribución de agua potable.
- Limpieza y desinfección de tanques.
- En la reparación de redes y tuberías en general.

Las pérdidas comerciales son las que impiden la recaudación plena de los ingresos calculados para la recuperación de los gastos ocasionados por la prestación del servicio.

Estas pérdidas se presentan por los motivos siguientes:

Consumos gratuitos

- Edificios públicos y usuarios privados. En edificios del gobierno es frecuente que el agua no se pague. Las tarifas de agua suelen estar subsidiadas, hay concesiones o exenciones para tales instituciones.
- Áreas verdes.

Consumos clandestinos

- Por tomas clandestinas sin registro.
- Por derivación en la conexión del medidor.

Errores de micromedición

- 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 evaluación de consumos no medidos

- Cobertura de micromedición insuficiente.
- Procedimientos inadecuados en la evaluación.

Las fugas ocurren en: tanques de almacenamiento, tuberías de conducción y tuberías principales y secundarias, en las acometidas y tuberías de servicio y en el interior de las viviendas.

Tanques de almacenamiento de agua potable

El agua puede fugarse de los tanques por rupturas o derrames. Las rupturas pueden ser visibles o no visibles, en cualquier caso, cerrando la entrada y la salida y verificando que efectivamente las válvulas cierren herméticamente, se mide la altura que desciende el agua en determinado tiempo, la altura multiplicada por el área del tanque y por el tiempo dará el volumen perdido.

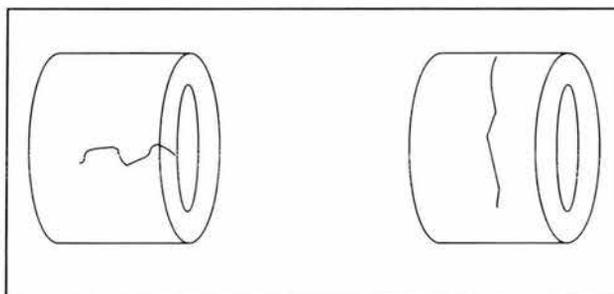
Las fugas por derrame del agua frecuentemente son de gran magnitud y corta duración, por lo que se debe tener mejor atención en la inspección y el mantenimiento de las válvulas de control de nivel en el tanque, sean flotadores o válvulas de altitud.

Tuberías de conducción y tuberías principales y secundarias de una red de agua potable

Éstas fugas se presentan como consecuencia de agrietamientos transversales y longitudinales y por aplastamiento. Las primeras se deben a esfuerzos y vibraciones producidas por cargas superficiales, las segundas se deben a fatigas de los materiales por defectos de fabricación o golpe de ariete y las terceras son resultado de una construcción defectuosa. Ésto obliga a que se tenga una supervisión más estricta en las compactaciones durante la colocación de las tuberías, así como de los materiales que se utilizan para su fabricación; verificando que cumplan con las normas de calidad vigentes del país de origen

Figura II.1 "Agrietamientos longitudinal y transversal".

**FIGURA II.1 AGRIETAMIENTOS LONGITUDINAL Y
TRANSVERSAL EN TUBERÍAS**



A continuación en la Tabla II.1 "Ubicación y frecuencia de las fugas en una red de distribución de agua potable", se muestra una lista de los accesorios en donde se presentan con más frecuencia las fugas de agua en una red de abastecimiento.

TABLA II.1 UBICACIÓN Y FRECUENCIA DE LAS FUGAS EN UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

ACCESORIOS DONDE SE PRESENTAN FUGAS	FRECUENCIA DE FUGAS (%)
Válvulas	9.2
Uniones de plomo	36.6
Anillos	1.1
Tapones	1.0
Uniones simples	1.1
Tuberías partidas	13.6
Tuberías perforadas	12.3
Tuberías rajadas	2.3

Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), 1993.

En las acometidas y tuberías de servicio

Éstas fugas se presentan en las uniones y el cuerpo del tubo y los daños son de menor importancia que los daños en tuberías de conducción o en tuberías de la red de agua potable, aunque si se presentan con mayor frecuencia.

En el interior de las viviendas

Dentro de las viviendas las fugas mayores ocurren en los flotadores, por desgaste y mal funcionamiento del flotador, en válvulas por desgaste o falta de empaques y con menor frecuencia por ruptura en las tuberías expuestas o empotradas en la construcción. Las causas más importantes que originan las fugas son:

Alta presión en las tuberías de conducción y distribución de la red de agua potable.

La presión en un sistema de distribución tiene los siguientes efectos que deben ser considerados:

- Una fuga existente aumenta su magnitud con la presión.
- El número de fugas con la presión.

- El consumo aumenta con la presión. Cuando el uso del agua depende de una válvula que es operada por el usuario, por ejemplo para bañarse se da un aumento en el consumo conforme es mayor la presión.

Corrosión

Sin duda alguna la corrosión es una de las causas principales de deterioro estructural de una tubería de agua potable. El acarreo de aguas corrosivas puede causar pequeñas perforaciones o desgaste en la tubería debilitandola. La corrosión de tuberías metálicas es una reacción electroquímica (reacciones químicas y flujo de electrones entre el metal del tubo y su medio ambiente), en el cual la tubería pierde su componente ferroso quedando solo grafito.

Efectos del tráfico vehicular

Las tuberías viejas de entre 150 y 200 años que se encuentran bajo las superficies no diseñadas para recibir cargas impuestas por el tráfico pesado, son susceptibles de fracturarse y más aún aquellas con uniones rígidas o también pueden fracturarse si la profundidad y la compactación no son las adecuadas.

Movimiento del suelo

Es una causa frecuente de fugas, sobre todo en suelos arcillosos que sufren cambios de acuerdo con el contenido de humedad. Los sismos también afectan las tuberías ocasionando fugas de importancia.

Mala calidad de los materiales y accesorios

La mala calidad redonda en una vida útil más corta, en reparaciones defectuosas y frecuentes que implican a su vez desperdicios de agua potable.

Mala calidad de la mano de obra

Ésta implica trabajos defectuosos y de mayor duración en la ejecución, por ello es importante el adiestramiento del personal en las técnicas de fontanería más adecuadas y dotarlo de los equipos y herramientas indispensables.

Golpe de ariete

El golpe de ariete es un fenómeno que se produce por cambios súbitos de energía cinética a energía de presión, ésta presión se transmite en toda la longitud de la tubería como una onda cuya velocidad máxima es igual a la transmisión del sonido en el líquido (1500 m/s) que se conduce, en este caso el agua potable y se origina por el cierres repentinos de las válvulas.

Éste efecto produce fallas por altas presiones que causan fracturas en las tuberías municipales y de servicio, así como desplazamientos en los bloques de anclaje. El personal debe ser adiestrado para abrir y cerrar las válvulas en el tiempo requerido para impedir la formación de ondas de sobrepresión.

Defectos dentro de los domicilios

Un alto porcentaje de las fugas que se presentan en las viviendas se debe a empaques defectuosos en las válvulas y flotadores defectuosos.

Edad de las tuberías

Las tuberías metálicas son particularmente susceptibles a la corrosión, dado que sus paredes y el agua interna o el suelo externo húmedo, están en contacto la corrosión producida con el tiempo ocasiona la reducción de la capacidad hidráulica, decoloración del agua y reducción del espesor de las paredes del tubo presentandose picaduras que dan origen. La corrosión externa e interna aumenta con el tiempo y por consiguiente conforme más viejas sean las tuberías, mayor incidencia de fugas se presenta.

II.1.1 PROBLEMA DE LAS FUGAS DE AGUA POTABLE

En la República Mexicana se tienen problemas de fugas, que posteriormente se exponen pero antes se toca la situación de lo servicios de agua potable que se tienen actualmente, así como los planes para su desarrollo.

La cobertura de agua potable para el año de 1990, de la infraestructura en la República Mexicana era de 78%, incrementándose en el año de 1998 a un 86% y pasando a un 88% en el 2000. Lo que representa un aumento de un millón de habitantes con el servicio de agua potable.

En 1990 los estados de la República Mexicana que contaban con una cobertura de agua potable mayor al 85% eran, Baja California Sur, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Colima, Tlaxcala, Quintana Roo, Morelos y el Distrito Federal y para el año 2000, el número de entidades federativas llegó a 26 estados; en cambio las entidades con cobertura menor del 70% , pasó de 10 a cero. Esto habla de la atención que los gobiernos estatales han puesto para que los porcentajes de la cobertura a nivel nacional se incrementen y la población tenga un mejor servicio de agua potable, como se presenta en la Tabla II.2. "Porcentajes de viviendas que disponen de agua entubada en algunas entidades federativas".

TABLA II.2 PORCENTAJES DE VIVIENDAS QUE DISPONEN DE AGUA ENTUBADA EN ALGUNAS ENTIDADES FEDERATIVAS

NÚMERO	ENTIDAD FEDERATIVA	VIVIENDAS CON DISPOSICIÓN DE AGUA ENTUBADA (%)
1	Guerrero	70.98
2	Oaxaca	73.41
3	Tabasco	74.90
4	Puebla	83.93
5	Campeche	85.61
6	Nayarit	90.41
7	Morelos	92.25
8	Guanajuato	92.44
9	Durango	92.71
10	Jalisco	92.94
11	Chihuahua	93.62
12	Yucatán	93.77
13	Nuevo León	95.45
14	Tlaxcala	96.47
15	Colima	97.17
16	Aguascalientes	98.09
17	Estados de México	89.00

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

Para el año 2000 el número de habitantes que cuentan con el servicio de agua potable a nivel nacional es de 83.8 millones, divididos en poblaciones urbanas y rurales. Ver Tabla II.3 "Cobertura de agua potable por tipo de población".

TABLA II.3 COBERTURA DE AGUA POTABLE POR TIPO DE POBLACIÓN

TIPO DE POBLACIÓN	MILLONES DE HABITANTES			%
	TOTAL	CON VIVIENDAS	CON SERVICIO DE AGUA	
Urbana	72.7	71.1	67.3	92.6
Rural	24.7	24.2	16.5	66.8
TOTAL	97.4	95.3	83.8	86.0

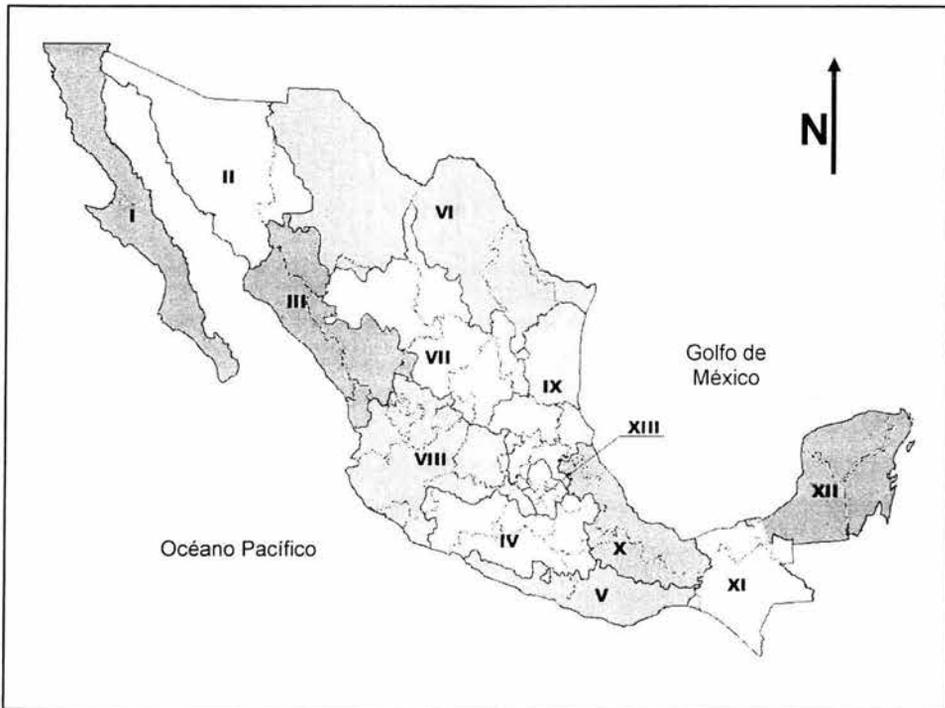
Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

Según la Comisión Nacional del Agua la República Mexicana está conformado por 13 regiones hidrológicas administrativas, que agrupan a 2428 municipios, éstas regiones son las siguientes:

- I Península de Baja California
- II Noroeste
- III Pacífico Norte
- IV Balsas
- V Pacífico Sur
- VI Río Bravo
- VII Cuencas Centrales del Norte
- VIII Lerma - Santiago – Pacífico
- IX Golfo Norte
- X Golfo Centro
- XI Frontera Sur
- XII Península de Yucatán
- XIII Valle de México.

Ver la Figura II.2 "Regiones hidrológicas administrativas de la República Mexicana".

**FIGURA II.2 REGIONES HIDROLÓGICAS
ADMINISTRATIVAS DE LA REPÚBLICA MEXICANA**



Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)

A continuación se presenta la población total de cada una de las regiones en que se divide la República Mexicana, así como la población con el servicio de agua potable.

La región que presenta mayor cobertura de agua potable es la región VI (Río Bravo) y menor cobertura la región X (Golfo Centro), esto se puede observar en la Tabla II.4 "Cobertura por regiones hidrológicas para los servicios de agua potable".

**TABLA II.4 COBERTURA POR REGIONES HIDROLÓGICAS
PARA LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE**

No.	REGIÓN HIDROLÓGICA	MILLONES DE HABITANTES		%	MILLONES DE HABITANTES	
		TOTAL	CON SERVICIO DE AGUA		SIN SERVICIO DE AGUA	%
I	Península de Baja California	2.86	2.73	95.48	0.13	4.52
II	Noroeste	2.38	2.31	97.30	0.06	2.70
III	Pacífico Norte	3.87	3.64	93.84	0.24	6.16
IV	Balsas	9.93	8.24	82.97	1.69	17.03
V	Pacífico Sur	3.88	2.75	70.93	1.13	29.04
VI	VI Río Bravo	9.25	9.05	97.80	0.20	2.21
VII	Cuencas Centrales del Norte	3.79	3.60	95.20	0.18	4.80
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	18.83	17.60	93.47	1.23	6.54
IX	Golfo Norte	4.83	3.47	71.89	1.36	28.11
X	Golfo Centro	9.18	6.07	66.18	3.10	33.82
XI	Frontera Sur	5.80	4.04	69.53	1.77	30.47
XII	Península de Yucatán	3.24	2.95	90.87	0.30	9.13
XIII	Valle de México	19.45	18.54	95.35	0.90	4.65
TOTAL		97.28	84.99	86.21	12.30	12.64

Fuente: Comisión Nacional del Agua (CNA).

II.1.2 PLANES Y ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO DEL SECTOR HIDRÁULICO EN LA REPÚBLICA MEXICANA

El Programa Nacional Hidráulico (2001-2006) elaborado por la Comisión Nacional del Agua es el instrumento mediante el cual se actualiza la política hidráulica del país, este emana del Plan Nacional de Desarrollo elaborado por el Gobierno Federal de la República Mexicana el cual se actualiza cada seis años.

Actualmente se generan programas para cada una de las 13 regiones hidrológico-administrativas en que se ha dividido la República Mexicana. 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, destaca la construcción de infraestructura para ampliar las coberturas de agua potable y saneamiento.

Un elemento esencial lo constituye la capacitación 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, esto es bueno si la situación económica del país no sufre ningún cambio durante ese lapso de tiempo.

Las metas que contempla El Programa Hidráulico Nacional (2001-2006) 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 aplicarán 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 para agua potable y saneamiento y se promueve la participación de la población en la operación y mantenimiento de los sistemas para contribuir a asegurar su duración.

Zonas urbanas

En las ciudades medias de la República Mexicana (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 complementen 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.

II.1.3 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.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), organismo creado en 1986 por el Gobierno Federal, que se dedica a la investigación científica y tecnológica del sector agua, además de capacitar personal para el manejo, conservación y

rehabilitación del agua, realizó estudios en 15 ciudades representativas de la República Mexicana, para evaluar las pérdidas por fugas de agua potable en sistema 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 del 15%, con un gasto de fuga de 44 mililitros por segundo, 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 de 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 abastecimiento y su producción promedio, capacidad de regularización y la continuidad del servicio, se muestran en la Tabla II.5 "Datos generales de 15 ciudades representativas de la República Mexicana" y Tabla II.6 "Datos generales de los sistemas".

**TABLA II.5 DATOS GENERALES DE 15 CIUDADES
REPRESENTATIVAS DE LA REPÚBLICA MEXICANA**

CIUDAD	CLIMA	POBLACIÓN EN 1991	SERVICIO TANDEADO ¹	NÚMERO DE SECTORES	TEMPERATURA (°C)
Cancún, Q.Roo	Cálido húmedo con lluvias	204,927	Si	8	27.5
Chihuahua, Chih.	Semiseco	775,215	Si	4	21.7
Coatzacoalcos, Ver.	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
Ciudad 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
Querétaro, Qro.	Semiseco templado	488,303	Si	30	18.7
Tapachula, Chi.	Cálido húmedo	152,218	Si	4	25.8
Tuxtla Gutiérrez, Chis.	Cálido subhúmedo	340,300	Si	30	25.3
Veracruz, Ver.	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

¹ El servicio por tandeo es la distribución del agua potable por turnos, es decir se alterna el servicio a la población designándoles un número de horas de asistencia. Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

TABLA II.6 DATOS GENERALES DE LOS SISTEMAS

CIUDADES	FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA									TANQUES CON CAPACIDAD DE REGULACIÓN	
	POZOS		MANANTIALES		RÍOS		PRESAS		PRO-MEDIO		
	Nº	l/s	Nº	l/s	Nº	l/s	Nº	l/s	l/s	Nº	m ³
Cancún, Q. Roo	107	940	-	-	-	-	-	-	940	1	1,000
Chihuahua, Chih.	69	3,141	-	-	-	-	2	348	3,489	51	113,265
Coatzacoalcos, Ver.	9	59	-	-	1	-	1	671	730	6	22,200
Constitución, B.C.S.	5	165	-	-	-	-	-	-	165	4	1,450
Durango, Dgo.	66	2,128	-	-	-	-	-	-	2,128	32	20,076
Guaymas, Son.	16	488	-	-	-	-	-	-	488	6	3,000
Ciudad Juárez, Chih.	115	4,147	-	-	-	-	-	-	4,147	-	86,600
Los Cabos, B.C.S.	5	268	-	-	-	-	-	-	268	6	1,490
Oaxaca, Oax.	42	606	5	155	-	-	-	-	721	12	17,700
Querétaro, Qro.	45	1,783	-	-	-	-	-	-	1,783	31	42,000
Tapachula, Chis.	7	125	-	-	1	652	-	-	777	2	1,200
Tuxtla Gutiérrez, Chis.	-	-	-	-	2	1,162	-	-	1,162	34	31,900
Veracruz, Ver.	31	1,609	-	-	1	1,260	-	-	2,869	9	40,000
Jalapa, Ver.	-	-	5	268	-	947	-	-	1,215	27	12,000
Zacatecas, Zac.	26	408	1	5	7	-	-	-	485	16	17,400

Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

II.1.4 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.

**DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS
EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE**

En la siguiente Tabla II.7 “Resultados de las pérdidas por fugas en la red de distribución”, se indican los gastos perdidos por fugas en la red, a partir de los datos registrados en los distritos hidrométricos.

**TABLA II.7 RESULTADOS DE LAS PÉRDIDAS POR FUGAS
EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN**

CIUDAD	G A S T O		
	MEDIO ANUAL	FUGAS EN RED	%
	l/s		
Cancún, Q. Roo	940	147	15.6
Chihuahua, Chih.	3,489	896	25.7
Coatzacoalcos, Ver.	729	32	4.4
Constitución, B.C.S.	165	2	1.2
Durango, Dgo.	2,128	236	11.1
Guaymas, Son.	488	9	1.8
Ciudad Juárez, Chih.	4,147	240	5.8
Los Cabos, B.C.S.	268	32	12.0
Oaxaca, Oax.	721	8	1.1
Querétaro, Qro.	1,783	50	2.8
Tapachula, Chis.	776.5	170	21.9
Tuxtla Gutiérrez, Chis.	1,162	174	15.0
Veracruz, Ver.	2,869	4	0.1
Jalapa, Ver.	1,215	108	8.9
Zacatecas, Zac.	485.1	15	3.1
Total	21,366	2,122	9.9

Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

Como son: volumen abastecido, volumen consumido, y el volumen por fugas en tomas domiciliarias. Entendiendo que el gasto hidráulico es el volumen de agua que pasa por una superficie en la unidad de tiempo. Respecto a la información general de los sistemas, se destaca lo siguiente: La población total de las 15 ciudades representativas de la República Mexicana, es de 5,124,382 habitantes, con 843,879 tomas; de las cuales el 39% no tiene medidor, de éstas últimas el 71% tiene 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.

En la Tabla II.8 “Evaluación de pérdidas en ciudades de la República Mexicana” se presenta un concentrado de los resultados totales de pérdidas, en la cual se indica la ciudad, el gasto promedio de la producción, porcentaje de fugas reportadas en tomas domiciliarias y red de distribución, gastos totales que se pierden con respecto a la producción total, gasto submedido por el mal funcionamiento de los micromedidores, y el total de pérdidas en la ciudad correspondiente.

TABLA II.8 EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS EN 15 CIUDADES REPRESENTATIVAS DE LA REPÚBLICA MEXICANA

CIUDAD	SUMIN. PROM. AGUA	FUGAS EN LAS TOMAS		FUGAS EN LA RED		GASTO SUBMEDIDO POR MEDIDORES		TOTAL PÉRDIDAS
	l/s	l/s	%	l/s	%	l/s	%	%
Cancún, Q. Roo	940	226	24.0	147	15.6	2.4	0.3	39.9
Chihuahua, Chih.	3,489	552	15.8	896	25.7	-	-	41.5
Coatzacoalcos, Ver.	730	289	39.6	32	4.4	-	-	44.0
Constitución, B.C.S.	165	52	31.5	2	1.2	1.3	0.8	33.5
Durango, Dgo.	2,128	650	30.5	236	11.1	-	-	41.6
Guaymas, Son.	488	114	23.4	9	1.8	5.2	1.1	26.2
Ciudad Juárez, Chih.	4,147	1,241	29.9	240	5.8	-	-	35.7
Los Cabos, B.C.S.	268	61	22.8	32	12.0	7.9	2.9	37.7
Oaxaca, Oax.	721	427	59.2	8	1.1	-	-	60.4
Querétaro, Qro.	1,783	242	13.6	50	2.8	13.6	0.8	17.1
Tapachula, Chis.	776	107	13.8	170	21.9	3.9	0.5	36.2
Tuxtla Gutiérrez, Chis.	1,162	300	25.8	174	15.0	9.5	0.8	41.6
Veracruz, Ver.	2,869	694	24.2	4	0.1	-	-	24.3
Jalapa, Ver.	1,215	418	34.4	108	8.9	-	-	43.3
Zacatecas, Zac.	485	134	27.6	15	3.1	-	-	30.7
Total	21,366	5,507	25.8	2,122	9.9	400	1.9	-
Promedios	-	-	27.6	-	8.8	-	1.1	36.9

Fuente: Instituto de Tecnología del Agua (IMTA).

II.1.5 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 las causas del problema.

Esta metodología consiste en calcular la medición de consumos en una muestra de Distritos Hidrométricos, 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, de acuerdo con el siguiente criterio de muestreo:

- Se divide a la población en cuatro niveles socioeconómicos a saber: nivel alto, nivel medio, nivel bajo y nivel 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, 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 una 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 Distritos Hidrométricos, se verifica la ubicación y estado de las válvulas limítrofes de cada Distritos Hidrométricos, 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 de los usuarios. Asimismo se confirma que la dirección del flujo sea hacia adentro del distrito, en el punto donde se instalará la Estación de Aforo, para medir el gasto abastecido.

Es recomendable que 48 horas antes de realizar la medición de consumo global, se cierre el Distrito Hidrométrico y sea abastecido en forma continua solo por el punto donde se haya instalado la estación de aforo, para asegurar su suministro normal en el sector.

A continuación, se procede a medir el caudal de ingreso al Distrito Hidrométrico 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 registrador continuo de gasto.

Al mismo tiempo se determina el consumo doméstico promedio diario, a partir de lecturas y registro de volumen consumido semanalmente durante un mes por una muestra representativa de usuarios, en cuyos domicilios se instalan micromedidores previamente calibrados.

Después se realiza un censo de población, para obtener el número de habitantes en todos los domicilios comprendidos dentro del sector de estudio. Es necesario garantizar que la medición global de consumos en cada Distrito Hidrométrico, se lleve a cabo durante el mismo periodo en el que se realizan las lecturas de consumos con micromedidores. Con estos datos, el consumo doméstico promedio diario, dado en litros por habitantes por día, 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 tomando como referencia el consumo horario promedio. 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 índices de consumo mínimo nocturno se obtiene en porcentaje al dividir el consumo mínimo nocturno (CMN), a partir de las 0:00 y 5:00 horas del día, entre el consumo horario promedio.

Estos índices de consumo mínimo nocturno son indicadores de los niveles de pérdidas que existen en los Distritos Hidrométricos. 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 índice de consumo mínimo nocturno 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 de dicho índice 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 de agua.

II.1.6 ESTADÍSTICAS DE FUGAS DE AGUA

El proyecto de estadística de la ocurrencia de fugas de agua 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 de datos del patrón de usuarios, del volumen promedio diario y mensual de agua utilizada por los usuarios, considerando

periodos 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 de agua. 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 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 las manera siguiente:

- Fecha de reparación.
- Tipo de falla (rotura, rajadura, perforación).
- Diámetro del tubo.
- Profundidad de la zanja.
- Tipo de suelo circulante.
- Fecha de instalación.
- 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:

- Distribución geográfica de fugas, por intervalos de frecuencia.
- Índice de fugas por tipo de material de la tubería de la red o tomas domiciliarias, expresando como número de fugas al año, o bien, gasto total de agua perdida al año.
- Índice de fugas por tipo de elemento donde ocurrió la fuga (por ejemplo en tomas domiciliarias, en tuberías de la red de distribución, en válvulas, etc.)

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

expresada en número de fugas (en el elemento)/km. de tubería (o número total de elementos)/año.

- Porcentaje de fugas reportadas mensualmente al Organismo Operador, menos el porcentaje de fugas reparadas.

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.

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 usuarios, 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 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 el servicio de jardines, áreas verdes, hospitales y oficinas de gobierno, así como las tomas especiales que se tienen para los grandes consumidores.

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, dimensiones de la ciudad y grado de procesos de 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.

II.1.7 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 la Tabla II.9 "Técnicas de uso eficiente del agua en el medio municipal".

En el año de 1989 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 socioeconómicamente diferentes, después se colocó el medidor en forma visible a los mismos usuarios y se midió el consumo respectivo.

**TABLA II.9 TÉCNICAS PARA 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%
Tarifas	Pueden inducir fuertemente al ahorro	Los costos pueden sobrepasar los del agua ahorrada	10%
Dispositivos ahorradores	Baratos Ahorros rápidos	Requiere la cooperación del usuario	Al menos 10% del consumo residencial
Reuso y jardines eficientes	Ahorros significativos Bajo mantenimiento de plantas nativas	Baja aceptación del 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: "Long Term Options for Municipal Water Conservation" (Grisham y Flemming), 1989.

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:

- 1) Tamaño de los sectores
- 2) Costos de instalación, mantenimiento, lectura y facturación
- 3) Equipo de transporte
- 4) Calidad del agua

- 5) Cantidad del agua
- 6) Consumos elevados
- 7) Costos de operación
- 8) 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 del rango de 10 a 20% de las 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:

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

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.

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 solo 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 del consumo prorratarlo entre los que no tienen medidor.

Los medidores de mayor capacidad (7 m³/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.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, ha realizado estudios acerca del funcionamiento de medidores en ciudades de la República Mexicana, 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 de 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 correctamente.

EVALUACIÓN DE SUBMEDICIÓN Y SOBREMEDICIÓN

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

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 pueden 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 periodo en cuestión, ya sean anteriores o posteriores, realizados en un determinado periodo de tiempo, o en el mismo de años anteriores.

II.1.8 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:

- 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 a 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 en 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 de vertedero, canal, 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.

II.1.9 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 cinco marcas comerciales de micromedidores en su diferentes tipos y modelos, estas son:

- **Delaunet** que agrupa tres tipos cuyos calibres oscilan entre 15 y 150 milímetros y sus gastos de arranque mínimo se encuentran entre 30 y 135 l/h, el gasto de arranque medio entre 120 y 175 l/h y gasto de arranque máximo de 3 a 270 m³/h.
- **Azteca** que comprende los modelos TM-3 y TM-5, con calibres de 15 y 20 milímetros respectivamente y gastos de arranque mínimo de 40 y 70 l/h, gasto de arranque medio de 150 y 250 l/h, y gasto de arranque máximo de 3 y 5 m³/h respectivamente.
- **Kent** cuyo único modelo PSM15-14 es de 15 milímetros de calibre y gastos de arranque mínimo de 3.40 l/h, gastos de arranque medio de 1.95 m³/h y gastos de arranque máximo de 3.50 m³/h.
- **Badger** presenta un modelo PSM con calibres de 25 a 50 milímetros y gastos de arranque mínimo de 250 a 500 l/h, gastos de arranque medio de 750 a 1500 l/h y gasto de arranque máximo de 3.0 a 6.0 m³/h y,
- **Triden** con su modelo PSM cuyo calibre se encuentra entre 15 y 50 milímetros y gastos de arranque mínimo de 150 a 500 l/h, gastos de arranque medio de 450 a 1500 l/h y gastos de arranque máximo de 1.8 a 6.0 m³/h.

II.1.10 MEDICIÓN DEL AGUA EN ALGUNAS CIUDADES DE LA REPÚBLICA MEXICANA

En la República Mexicana, algunas de las grandes ciudades (con más de 50,000 habitantes) han establecido o están en proceso de mejorar sustancialmente sus niveles de medición, sin embargo otros organismo 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 (2001-2006)", elaborado por el Gobierno Federal, en el que se establecen apoyos e instrumentos específicos para instalar, operar, mantener y utilizar la información de la medición.

Éstos 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 m³/s de agua a 160 localidades con población mayor a 10,000 habitantes. De éste gasto solo se medían el 43%, faltando por medir cerca de 97 m³/s que suministraban agua a 140 localidades. En el 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. Ésta situación nacional de falta de control y conocimiento de los volúmenes suministrados y utilizados, era reflejo de la poca importancia que se le daba al proceso de medición de agua potable 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, esta 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 eficiente de medición tanto en fuentes de abastecimiento como en tomas domiciliarias.

Recuperar los rezagos en la medición es tarea irrenunciable 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, emprendidos desde 1989, el desarrollo de experiencias e instrumentos para apoyar las tareas de selección, adquisición, instalación de medidores, así como la medición propiamente dicha para llevar a cabo la verificación de lecturas en todo el territorio nacional.

II.1.11 MEDICIÓN EN FUENTES DE ABASTECIMIENTO

- **Equipamiento**

Se estima que la mayor parte del volumen suministrado a las ciudades y no medido se extra por cerca de 3,000 pozos. En 1989, la Comisión Nacional del Agua (CNA) instaló 319 medidores en fuentes de abastecimiento de 9 ciudades, pasando la cobertura nacional de medición del 43% al 51% del volumen abastecido a ciudades. Además, se equiparon 5 gerencias regionales de la Comisión Nacional del Agua 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 realizar dos manuales, por una parte los "Términos de referencia para la selección, adecuación, instalación y calibración de macromedidores en pozos" y, por otra, los "Criterios y recomendaciones para la selección, adquisición, 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 almacenamiento, se brindó apoyo a nueve 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 teóricos-prácticos y se elaboró el "Manual

para aforos con tubo de Pitot”, en el que se dan las directrices y procedimientos para ejecutar los trabajos básicos de medición en las fuentes de abastecimiento.

- **Verificación y desarrollo tecnológico**

El seguimiento a la operación de los medidores instalados arrojó como a uno de sus resultados que en el 37% de las ciudades se subestimaba el volumen ingresado a la red y en el 63% de las ciudades se sobreestimaba. Ver Tabla II.10 “Macromedición en 9 ciudades representativas de la República Mexicana”.

TABLA II.10 MACROMEDICIÓN EN 9 CIUDADES
REPRESENTATIVAS DE LA REPÚBLICA MEXICANA

CIUDAD	MEDIDORES			CAUDAL ESTIMADO	
	INSTALADOS	EXISTENTES	VOLUMEN	FLUJO	l/s
1	72	-	1,700	2,210	-23%
2	32	-	-	2,023	-
3	15	-	985	966	2%
4	11	5	852	720	18%
5	15	16	630	618	2%
6	27	15	1,650	1,390	18%
7	72	-	2,500	2,616	-4%
8	33	-	1,861	1,700	9%
9	18	16	675	735	-8%

Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) 2001.

Ésta actividad permitió además verificar la precisión de cinco marcas de medidores de propela, encontrándose que sólo el 30% trabajaban dentro de los límites aceptables de error; y que el 60% tienen errores que varían del 5 al 20%; por último se encontró que el 10% restante tiene errores exagerados por distancias inadecuadas en la instalación y presencia de aire. Lo anterior se muestra en la Tabla II.11 “Revisión y resultados en medidores tipo velocidad”.

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.

TABLA II.11 REVISIÓN Y RESULTADOS EN MEDIDORES TIPO VELOCIDAD

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

Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) 2001.

S/E = Según especificación.

NO C: = No cumplen con especificación.

La Fuente no menciona el nombre de las ciudades de las tablas II.10 y II.11 solo las numera.

II.1.12 MEDICIÓN DOMICILIARIA

Para elevar la cobertura de micromedición a un 70% en los próximos 5 años se requerirán instalar o sustituir alrededor de 1.5 millones de medidores anualmente; ello implica casi duplicar la capacidad total de producción de los fabricantes nacionales o recurrir a importaciones. Ésta situación orientó los trabajos de apoyo de la Comisión Nacional del Agua 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 en los medidores ofrecidos.

Como resultado de reuniones con diversos organismos operadores, a propuesta de la Comisión Nacional del Agua y del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua 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 deben ofrecer y cotizar los proveedores, el segundo documento es una "Metodología para evaluar técnica y económicamente las propuestas de medidores domiciliarios".

TABLA II.12 RELACIÓN DE MEDIDORES PROBADOS

No.	MARCA	PAÍS DE ORIGEN	DIÁMETRO (mm)	ORGANISMO OPERADOR
1	YT	Taiwán	13	Quimomex
2	Precimag	Francia	13	Paribas
3	Neptune	Estados Unidos	15	Sistema Advance
4	WMW (BR)	China	15	CNA Hgo.
5	Azteca	México	15	Med. Azteca
6	Kent PSM	Puerto Rico	15	Inelco
7	Delaunet	México	15	CICASA
8	Tulam	México	15	MIMYMSA
9	Schlumberger	Francia	20	Sistema Advance
10	Andrea L.	Alemania	13	Quimomex
11	Delaunet	México	13	CICASA
12	Maipo	Chile	15	Quimomex
13	Azteca	México	13	Med. Azteca
14	Kent	Puerto Rico	15	Inelco
15	Cori	Italia	15	DGCOH
16	Arad	Israel	19	V. T. Represent
17	Woltex	Francia	50	Paribas
18	Chih Cheng	Taiwán	15	DGCOH
19	Neptune	Estados Unidos	50	Sistema Advance
20	Lecomte	Canadá	15	DGCOH
21	Arad	Israel	15	V. T. Represent
22	Iberconta	España	15	CICASA
23	Iberconta	México-Alemania	15	CICASA
24	Petrich	Bulgaria	19	Ing. Gastón L.
25	Rockwell	Estados Unidos	15	Ing. Meléndez
26	Badger	Estados Unidos	15	DGCOH S.U.
27	CicasaAndr	México-Alemania	13	Qro. – IMTA
28	Tecnobras	Brasil	15	Gob. Edo. Chis.
29	Ningbo	China	13	Don Bernstein
30	Prema	Checoslovaquia	19	Mavar, S.A.
31	Badger M.	Estados Unidos	15	Inova, S.A.
32	Mexicano	México	15	Raúl Juárez
33	S/M	Italia	15	Sistema Advance
34	S/M	Italia	19	Sistema Advance

Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Éstos documentos sirven como base para las adquisiciones que en ese sentido se hacen con fondos provenientes del Programa Nacional de Agua Potable y Alcantarillado. Para evaluar el comportamiento y las características técnicas de los diversos medidores domiciliarios que se están ofreciendo en la República Mexicana, elaboró un convenio con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y la Universidad Autónoma de San Luis Potosí para aplicar las pruebas establecidas en la norma internacional ISO 4064.

Ésta 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 éste sentido, ya que no hay laboratorios acreditados por la autoridad federal para realizar éstas pruebas. En una primera etapa se evaluaron 34 medidores nuevos y de distintas marcas. Ver Tabla II.12 "Relación de medidores probados".

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.

II.1.13 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 los 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 m³ de gasto nominal, para usuarios domésticos y hasta 7 m³ 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 con agentes externos (clima, accidentes, etc.).
- **Mantenimiento preventivo.** Se prevé dar un mantenimiento a los micromedidores cuando se estima que el error en la precisión rebasa ciertos límites, en promedio el mantenimiento se debe proporcionar cada 4 o 5 años según lo establecido 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).
- **Determinación de consumos y procesado de información.** Los datos se integran a un sistema de cómputo con el fin de analizar, clasificar y evaluar la información.

II.2 CLASIFICACIÓN DE FUGAS DE AGUA

Las fugas se clasifican de la siguiente manera: fugas visibles y fugas no visibles; las primeras se presentan en tomas domiciliarias, medidores, válvulas, bombas, muebles sanitarios, mingitorios, lavabos, tarjas, tanques de almacenamiento, tinacos, aspersores, etc.; en las tuberías de conducción y distribución cuando afloran a la superficie.

Las no visibles se presentan en dos clases: las detectables y no detectables. Éstas últimas corresponden a fugas pequeñas cuya magnitud fluctúa desde un goteo hasta 0.025 l/s y pueden aparecer en el transcurso de varios años.

El objetivo de éste estudio solo considera las fugas detectables y para su localización existen algunas técnicas que se describen en el Subcapítulo II.3 “Métodos de Detección de Fugas”.

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Las fugas se pueden clasificar también en tres categorías según su tamaño. La primera categoría contiene las fugas pequeñas como las que se presentan en las juntas o uniones en tuberías principales o de servicio y prácticamente son goteos o exudaciones. Éstas no son detectables por las técnicas normales; algunas pueden ser visibles como goteos en una válvula, pero puede ser que no se reparen oportunamente.

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

Dentro de la tercera categoría se engloba las fugas grandes que se evidencian por varios mecanismos tales como rupturas en el pavimento, aguas fluyendo visiblemente, ruido en las viviendas, baja presión y falta de agua.

La clasificación en base al caudal de las fugas se cataloga de la siguiente manera en la Tabla II.13 "Clasificación de las fugas según su gasto".

**TABLA II.13 CLASIFICACIÓN DE LAS
FUGAS SEGÚN SU GASTO**

NOMINACIÓN	GASTO (l/s)
D	Goteo – 0.025
A	0.030 – 0.0320
B	0.380 – 1.260
C	Mayor de 1.260

La categoría D y parte de la A, corresponden a la categoría 1, anteriormente descrita, la categoría B corresponde a la categoría 2 y la categoría C corresponde a la categoría 3.

II.3 MÉTODOS DE DETECCIÓN DE FUGAS

El programa de detección y supresión de fugas no visibles en una red de agua potable, pionero en el país fue iniciado en julio de 1998. Su objetivo es disminuir las pérdidas de agua potable por fuga en las redes de distribución y rescatar del desperdicio caudales adicionales para ponerlos al servicio de la población. El agua que se recupera es la más barata puesto que ya se encuentra en las líneas de distribución y en comparación con lo que costaría traer los mismos volúmenes de fuentes externas.

A continuación se mencionan algunos métodos de detección de fugas, estos son: las técnicas de simple inspección y los métodos con equipos mecánicos y eléctricos. En las técnicas de simple inspección se encuentran la medición en sectores, también llamada de Distrito Hidrométrico ésta consiste en separar sectores de la red de distribución donde se dan mediciones de volúmenes abastecidos y consumidos por los usuarios en cada sector, durante un día completo como mínimo.

Antes de iniciar la medición en el sector, debe verificarse la operatividad de las válvulas de seccionamiento; ésta actividad se efectúa para localizar posibles fallas que compliquen la operación de las válvulas. El procedimiento para la aplicación de esta técnica se resume en los siguientes pasos:

- Aislar el sector utilizando las válvulas de los cruceros que limitan el distrito hidrométrico.
- El volumen que entra al Distrito se debe medir durante 24 horas y a cada diez minutos, para dibujar una gráfica donde se relaciona el gasto suministrado contra el tiempo.
- Con ayuda de la gráfica se calculan los consumos e índices siguientes:
 - 1) Consumo horario promedio (m^3/h) dado por la relación consumo total de un día entre el periodo de tiempo de un día completo, la relación se indica con la siguiente expresión:

$$CHP = \frac{CT}{24 \text{ horas}}$$

- 2) Índice de Consumo Horario Máximo. Es la relación entre el Consumo Horario Máximo (m^3/h) y el Consumo Horario Promedio (m^3/h); cuando éste índice es mayor de 1.5 indica una gran variación en el consumo. La expresión para su cálculo es:

$$ICHM = \frac{CHM}{CHP}$$

- 3) Índice de Consumo Mínimo Nocturno, se obtiene con la relación Consumo Mínimo Nocturno (m^3/h) y el Consumo Horario Promedio (m^3/h). Si el índice se encuentra entre 0.2 y 1.5 indica la existencia de fugas y es necesario que se haga un estudio detallado de la zona mediante el uso de detectores electroacústicos; su cálculo se realiza con la expresión siguiente:

$$ICMN = \frac{CMN}{CHP}$$

- 4) Consumo Específico Promedio ($l/s/km$) se define, como el Consumo Horario Promedio en l/s por cada kilómetro de la tubería, en donde L es el tramo de la red en estudio dentro del Distrito Hidrométrico dada en kilómetros, la expresión es:

$$CEP = \frac{CHP}{3.6L}$$

En sectores con buen mantenimiento y bajo nivel de fugas, el valor de la relación Consumo Horario Máximo entre Consumo Mínimo Nocturno que varía entre 12 y 15. Al analizar la relación entre la Consumo Específico Promedio y el Consumo "per capita" Promedio Diario, es posible observar la densidad de tomas domiciliarias en el Distrito Hidrométrico así como el patrón socioeconómico de los usuarios.

Si el área en estudio es residencial solamente, y no se registraron irregularidades importantes en el abastecimiento, el índice de consumo mínimo nocturno indica la intensidad de las fugas en el Distrito Hidrométrico; pero si existen grandes consumidores en el Distrito Hidrométrico, como son fábricas de hielo, embotelladoras y hoteles, también se calcula el Índice de Consumo Nocturno Doméstico.

- 5) Índice de Consumo Nocturno Doméstico. Se define como la relación de las diferencias del Consumo Mínimo Nocturno menos el consumo mínimo nocturno de los grandes consumidores y la diferencia del Consumo Horario Promedio menos el consumo horario promedio de los grandes consumidores, la expresión siguiente permite su cálculo:

$$ICONOD = \left[\frac{(CMN - cmn)}{(CHP - chp)} \right] \times 100$$

Éste Índice de Consumo Nocturno Doméstico, sirve para eliminar la influencia de los grandes consumidores en el Índice Consumo Mínimo Nocturno, y considerar el primero como índice de fugas más fidedigno en este caso. Si se ha decidido investigar más a fondo el problema de fugas, se procede a hacer una subdivisión nocturna, que consiste en aislar segmentos de la red dentro del Distrito Hidrométrico, que permite medir el consumo mínimo nocturno en cada uno de esos segmentos y ubicar así, con más precisión, los niveles de fugas.

- 6) El período nocturno se refiere al intervalo entre las 0:00 y 5:00 horas del día, y se le asigna "noche" como unidad de medida y es la relación entre el producto del porcentaje de entrega a los usuarios (E) por la sumatoria de los consumos nocturnos de los segmentos del Distrito Hidrométrico entre la longitud total de la red dentro del mismo, la expresión es:

$$CEL \left(\frac{ExCMN}{L} \right)$$

- 7) El porcentaje de entrega a los usuarios se calcula como la relación entre la diferencia de la suma de los Consumos Mínimos Nocturnos de los segmentos del Distrito Hidrométrico (m^3/noche) menos la pérdida por fuga (m^3/noche) estimada previamente y el Consumo Mínimo Nocturno, a continuación se da la expresión.

$$E = \frac{(CMN - p)}{CMN}$$

En redes donde no hay almacenamiento domiciliario, se puede tomar $E = 0.70$ para iniciar el estudio, ajustando este valor posteriormente, con la información obtenida.

- 8) El Consumo Específico Nocturno (m^3/noche) de cada segmento, se define como la relación entre el consumo nocturno del sector en estudio y la longitud del segmento se calcula con la expresión:

$$CEN = \frac{CN}{l}$$

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

II.3.1 DETECCIÓN DE FUGAS POR PRESIÓN DIFERENCIAL

La existencia y posición de una fuga puede determinarse midiendo la presión a lo largo del conducto que se está inspeccionando, para establecer con esos valores la línea de presiones. La existencia de una fuga se verifica cuando una línea de presión muestra una discontinuidad o cambio hacia ambos lados de la fuga. Para medir la presión en tuberías generalmente se utilizan los manómetros de resorte, o bien, de igual forma pueden utilizarse manómetros diferenciales con un líquido manométrico adecuado.

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

- La presión debe medirse en el punto más cercano a la línea principal de la red de distribución, el cual generalmente es en el cuadro donde se instala el medidor domiciliario.
- Debe verificarse que no haya flujo a través de la toma hacia adentro del domicilio, lo cual se puede lograr si se desconecta el medidor, para instalar el manómetro.
- En el caso de que existan presiones menores a 0.5 kg/cm^2 se recomienda el uso de un manómetro en "U" abierto, utilizando mercurio como líquido manométrico. Para presiones mayores se puede utilizar un manómetro de resorte con una escala adecuada ($0-4$ o $0-7 \text{ kg/cm}^2$). Si no se sabe el rango de presiones existente, primero se deberá utilizar el de mayor escala.
- Las mediciones de la presión se realizan en la toma seleccionada y en las adyacentes, o bien, en una adyacente y en una de 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 periodo de tiempo no mayor a 30 minutos.
- Al medir la presión, se debe verificar que el punto de medición se encuentre a la misma altura en todas las tomas respecto a un plano de referencia, el cual puede ser el nivel de la acera; o bien, hacer el ajuste correspondiente al comparar las presiones medidas, registrando el desnivel entre ellas midiendo con un nivel de mano.
- El operador que realice las mediciones deberá ser uno solo en cada cuadrilla, para evitar que existan errores de apreciación en las lecturas, y utilizar un solo manómetro, revisando que no exista fuga en sus conexiones.
- Si la caída de presión en la toma inspeccionada es de 10% respecto a las adyacentes o mayor, entonces existe probabilidad de fuga.

II.3.2 DETECCIÓN DE FUGAS POR SONIDO

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

Según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencia del Ambiente (CEPIS), al escapar el agua a presión genera vibraciones en el punto de escape y produce sonidos en un rango de frecuencia comprendido entre 350 y 2000 ciclos por segundo. Aunque el sonido de la fuga pueda mezclarse con los sonidos ambientales que se encuentran en el intervalo de hasta 350 ciclos por segundo, es posible diferenciarlos mediante un entrenamiento de una a dos semanas. Una fuga pequeña (orificio o grieta, presenta un sonido agudo de alta frecuencia, y una tubería rota o una junta mal instalada un sonido grave de poca intensidad y baja frecuencia). Para facilitar la audición del sonido conviene cerrar temporalmente el paso vehicular en la calle.

El sonido es una onda mecánica longitudinal que se propaga a través de un medio elástico, que puede ser sólido, líquido o gaseoso. La onda mecánica es una perturbación física en un medio elástico; por ejemplo cuando se deja caer una piedra en un estanque de agua, se origina una perturbación que se propaga en círculos concéntricos que al cabo del tiempo se extienden a todas las partes del estanque, éste ejemplo se refiere a una onda mecánica porque su existencia misma depende de una fuente mecánica y de un medio material.

Las ondas sonoras que pueden estimular al oído y al cerebro humano se encuentran en los límites aproximados de 20 a 20000 hertz (Hz). El hertz es la unidad del Sistema Internacional (SI) que corresponde a la frecuencia, el cual se

define como un ciclo por segundo ($1 \text{ Hz} = 1 \text{ ciclo/seg}$) y las unidades en las que se expresa la frecuencia pueden ser ondas/seg, oscilaciones/seg o ciclos/seg, por lo tanto los límites anteriores también pueden expresarse como 20 ciclos/seg y 20000 ciclos /seg. En cambio los niveles de intensidad del sonido se miden en decibeles (dB), cuyo intervalo se encuentra entre el umbral de audición (0 dB) y el umbral del dolor (120 dB), según se indica en el libro "Física Conceptos y Aplicaciones" de Paul E. Tippens.

Los sonidos emitidos por las fugas se encuentran clasificados en diferentes frecuencias, así por ejemplo el sonido producido por la vibración del orificio en la pared del tubo, se encuentra en el intervalo de 500 a 800 ciclos/segundo, en cambio el sonido producido por el choque del agua de la fuga contra el suelo o el que se debe al agua que circula en la cavidad del suelo cerca de donde se encuentra la fuga, se ubican en el intervalo de 20 a 250 ciclos/segundo. Para conocer éstas frecuencias se utilizan aparatos eléctricos equipados con indicadores de frecuencia como ya se menciono anteriormente.

Existen algunos factores que afectan el sonido de las fugas y estos son:

- **Presión.** Las presiones menores a un kg/cm^2 dificultan la localización de las fugas, ya que la onda sonora no se propaga con claridad a lo largo de la tubería.
- **Tamaño y material del tubo.** En las tuberías de hierro es más fácil la detección de fugas, debido a que este material conduce mejor el sonido, a diferencia del asbesto-cemento, PVC y concreto en donde el sonido es poco intenso, por lo que en este tipo de materiales la localización se hace sólo a distancias cercanas a la fuga.
- **Tipo de Suelo.** La arcilla se ha caracterizado por no ser una buena conductora del sonido de la fuga; lo contrario ocurre cuando se tiene arena.
- **Tipo de Superficie.** A continuación se mencionan los diferentes tipos de superficies ordenadas de mayor a menor conductividad del sonido:

1) Carpeta de concreto hidráulico. Éste tipo de carpeta es una de las que brindan mejores condiciones en la localización de fugas, la superficie es lisa y compacta, esto facilita la detección de la fuga con mayor exactitud.

2) Carpeta de concreto asfáltico. Ésta superficie no es tan confiable por que la distribución de las partículas del asfalto dejan huecos, es decir quedan partes porosas donde llegan a formarse pequeñas bolsas de aire, además es un material que sufre deformaciones por temperatura por lo que las detecciones son más complicadas.

3) Terracería. Presenta varias desventajas, el micrófono de piso no queda bien asentado en la superficie por la presencia de pequeñas piedras, y además por los desniveles del terreno que obligan a tener cuidado en colocar el micrófono en este tipo de carpeta.

4) Superficie con hierba o pasto. Es una superficie crítica, tiene las desventajas de la Terracería, el terreno presenta diferentes tamaños de hierba y pasto, esto dificulta asentar bien el micrófono de piso lo cual es un riesgo para el equipo por la existencia de piedras cubiertas por la hierba.

- **Tipo de terreno.** Dependiendo de la condición del suelo hay lugares en donde se presenta una mejor recepción del ruido que en otros, a continuación se indican algunos, en orden decreciente de conductividad del sonido:

1) Terreno duro. En una arena compacta y en un terreno rocoso se transmite mejor el sonido, debido a que existe un mínimo de porosidad por lo que el sonido de fuga no se altera.

2) Terreno fangoso. De barro o donde existe material tipo voleo, no tienen buena resonancia. En el caso del barro el terreno es agrietado por la temperatura, es expansivo, en estas condiciones el aire penetra por las grietas mezclándose el ruido de este con el ruido de la fuga dificultando su identificación con el micrófono de piso.

- 3) Terreno con material tipo voleo.** Existe el mayor porcentaje de bolsas de aire o respiraderos éstas se presentan 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. Las desventajas son críticas para poder hacer una buena detección de fugas en este tipo de terreno.

- **Tipo de fuga.** Las fugas pequeñas generan ruidos de alta frecuencia por lo que se consideran ruidos agudos, los graves son de baja frecuencia y los ocasionan las fugas grandes, como las que se presentan en tuberías rotas.
- **Ruidos subterráneos de accesorios y piezas especiales.** Generalmente la fuga se localiza donde el sonido es más intenso, pero bajo algunas condiciones esta afirmación cambia por ejemplo en: cambios de dirección del tubo, tubería doblada, codos, tés, reducciones, etc., éstas condiciones amplifican el sonido que puede confundirse con el de una fuga de agua potable.
- **Profundidad del terreno.** El espesor de la capa del terreno que cubre la tubería hace variar la intensidad del sonido, por lo que se recomienda contar con planos actualizados de toda la red y algunos reportes para identificar estas condiciones y se pueda precisar más rápido el sitio de la fuga de agua potable.

II.3.3 EQUIPO DE LOCALIZACIÓN DE FUGAS

En ocasiones, no se cuenta con registro confiable de las redes de tuberías que suministran agua a algunas localidades, es por esto que se utiliza un equipo detector de tuberías.

Un equipo detector de fugas es un instrumento que permite mediante la amplificación del sonido, ubicar con precisión el lugar o elemento de la red o toma domiciliaria en donde existe un escape de agua. La moderna tecnología empleada en la localización de fugas de agua, permite disponer de equipos más precisos, con una mayor capacidad de análisis del espectro de frecuencias y filtros seleccionables, cubriendo distancias mas largas y permitiendo la localización en materiales tradicionalmente complejos de analizar, como por ejemplo plásticos o tuberías de grandes diámetros.

Para la detección de fugas, se emplean equipos detectores que pueden ser mecánicos, electrónicos directos y electrónicos indirectos.

a) Equipos mecánicos

- **Varillas acústicas**

Una técnica sencilla y económica para determinar la existencia de fugas en tomas domiciliarias consiste en usar una varilla ya sea de metal o de madera la cual está provista en uno de sus extremos de un auricular. Con esta varilla se escucha directamente en el cuadro del medidor de la toma, previamente cerrada la llave de paso al interior del predio; si al cerrar dicha llave se continúa escuchando el paso del agua, es muy probable que esta tenga una fuga. De la misma manera es posible escuchar la red en los puntos donde esta es accesible como caja de válvulas. En este caso hay que tomar en cuenta que una válvula mal cerrada llega a provocar un sonido muy parecido al de una fuga y este sonido puede llegar a escucharse en las tomas domiciliarias cercanas a la válvula. Puede utilizarse una simple varilla metálica o varillas de producción industrial; a estos modelos se les conoce como estetoscopios industriales o hidrófonos.

- **Geófonos mecánicos**

El geófono mecánico es un equipo compacto, robusto, simple y preciso, destinado a detectar las fugas invisibles, a través de mangueras a un auricular del mismo tipo que el utilizado en los estetoscopios médicos. En el interior de cada cilindro existen dos membranas finas de bronce, separadas por un anillo pesado de plomo, lo que forma una caja de resonancia. Cuando el cilindro se coloca en el suelo, capta las vibraciones emanadas de la fuga, lo que hace que vibre la membrana inferior y la membrana superior. Esta vibración es transmitida luego al operador, a través de la propagación de las ondas sonoras a lo largo de las mangueras y el auricular. El geófono capta prácticamente todos los ruidos del medio, tales como pasos de personas que se aproximan, ruidos de vehículos, transformadores de corriente eléctrica, etc. Quedando en el operador la tarea de distinguir de entre los ruidos que llegan a su oído aquel que es causado por la fuga. Debido a esta sensibilidad del equipo, este solo debe utilizarse en el período nocturno.

Los sensores del geófono deben ubicarse en el suelo, distantes uno del otro tanto como sea posible; luego se colocan los auriculares en los oídos, y en caso de no escuchar ruidos se pasa a otro punto de la tubería. Luego de escuchar un ruido característico de fuga, se deberá ir avanzando a lo largo de la tubería hasta que los ruidos alcancen la misma intensidad en los dos oídos, en este momento la fuga estará a media distancia entre los dos cilindros.

b) Equipos electrónicos de detección directa

Para la localización puntual de las fugas se cuenta con aparatos electrónicos, la mayor parte de ellos se basan en la amplificación y en el análisis de las vibraciones captadas en la superficie del suelo o en aparatos conectados directamente a la red.

Los equipos electrónicos de detección directa de fugas a diferencia de los equipos mecánicos, son instrumentos cuyo funcionamiento consiste en captar las vibraciones emanadas de una fuga, transformar esas vibraciones en impulsos electrónicos, ampliar la señal, separar la señal de las demás señales que interfieren y nuevamente transformar esa señal resultante en señales sonoras audibles para un operador. Cuando la señal captada generada por la fuga es la más alta posible determina el lugar exacto de la fuga.

- **Micrófonos de piso**

Los micrófonos de piso son amplificadores electrónicos cuyo principio es un captador electromagnético o electrostático colocado sobre una varilla o sobre un chasis en forma de campana. Dicho captador envía las señales de sonido a un módulo receptor que posee un banda de sonido de 50 a 10 000 Hz. A este módulo se conectan unos audífonos con los cuales es posible apreciar el sonido del agua circulando en la tubería y el sonido de las fugas.

En la pantalla de este módulo se puede observar la ganancia del sonido de la fuga, lo cual es también una ayuda para su localización. El módulo cuenta con controles de volumen, sensibilidad, ancho de banda y frecuencia, éstos

parámetros deben ser modulados según las condiciones de campo, tales como tipo de recubrimiento y de relleno, ruido ambiental, tipo de tubería, etc.

El captador del micrófono de piso está conectado al amplificador mediante un cable flexible, el cual puede causar falsos contactos debidos al mal trato que se le dé al equipo en campo, estos falsos contactos impiden la búsqueda de las fugas ya que producen ruidos parásitos importantes.

La búsqueda y la localización de fugas de agua mediante estos parámetros se llevan a cabo revisando las tuberías mediante la escucha directa de la tubería ya sea en la tomas domiciliarias, válvulas de seccionamiento, etc. Para lo cual cuenta con otro aditamento en forma de varilla la cual también se conecta al módulo y mediante la escucha en el suelo, sobre la trayectoria de la tubería a verificar, se procede a encontrar el ruido producido por una fuga y localizar el lugar en el que el sonido captado es máximo.

Para definir el punto máximo del ruido es necesario comparar varios valores de la intensidad del sonido captado tanto en los audifonos como en la pantalla del módulo, manteniendo la sensibilidad constante. Por esta razón es importante ajustar los botones de control de sensibilidad, de ancho de banda y de frecuencia al iniciar el rastreo.

c) Equipos electrónicos de detección indirecta

Estos equipos electrónicos se caracterizan por su propiedad de localizar fugas sin que los sensores de vibración se encuentren directamente sobre la misma. Su principio de funcionamiento consiste en captar señales vibratorias emanadas de fugas, en puntos de la tubería distantes de la fuga. Estas señales se propagan a lo largo de la tubería, en direcciones opuestas a partir de la fuga, siendo captadas por sensores estratégicamente colocados en contacto con las tuberías o con accesorios de la misma.

Las señales captadas, así como la distancia del conducto entre los sensores alimentan un microprocesador que, en función de estos datos, da la localización exacta de la fuga.

- **Correladores electrónicos**

El método de correlación acústico también utiliza el ruido producido por la fuga. Sin embargo, este método es más eficaz que el uso de los micrófonos de piso, ya que se basa en medios técnicos diferentes.

El principio básico está relacionado con la propagación del ruido en la tubería, esta propagación se realiza a una velocidad igual a uno y a otro lado del punto de origen de la fuga. Mediante la toma del ruido de la fuga sobre la tubería misma y, mediante una comparación de los ruidos captados en dos puntos diferentes de esta tubería, es posible localizar una fuga, precisando la distancia a la cual se localiza. El equipo está compuesto de:

- Dos captadores acelerómetros, los cuales toman las vibraciones de la tubería generados por la fuga.
- Dos amplificadores conectados a los acelerómetros.
- Dos conexiones entre los captadores y la unidad central, los cuales consisten en cables o unidades de radio en dos canales diferentes.
- Un dispositivo de filtración de las señales captadas, las cuales solo intervienen en caso de que exista un ruido externo.
- Un dispositivo de amplificación capaz de restablecer el nivel suficiente a las señales tras la filtración.
- El correlador, que es la unidad central.

El método general de detección usando el correlador es el siguiente:

Los acelerómetros se colocan en dos puntos de la red en distancias que pueden variar desde unos veinte metros hasta más de un kilómetro, dependiendo del tramo que se pretenda revisar, del material y diámetro de la tubería y de la presión existente. Los captadores se colocan directamente a la red en sitios como válvulas de seccionamiento, tomas domiciliarias, en el lomo del tubo (en caso de que se tenga acceso), etcétera.

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Se recopilan los datos del tramo a inspeccionar, con los cuales se alimentará a la computadora para dar comienzo a la correlación, tales datos son la longitud, el diámetro y el tipo de material de la tubería. La precisión que se tenga en estos parámetros es importante, ya que con ellos se realiza el cálculo de la distancia a la que se encuentra la fuga, el sonido tiene una velocidad de propagación diferente en plástico que en el acero y en diámetros pequeños en comparación de los grandes.

Se recomienda que previamente a la medición, la longitud de la tubería se defina lo más preciso posible, así como su trayectoria, ya que de no ser así se pueden llegar a tener errores considerables en la localización de las fugas. Una vez conectado el equipo e introducido a la computadora los datos, esta analiza el tramo y después de unos 90 segundos se puede apreciar en la pantalla la gráfica de los sonidos existentes en el tramo analizado. La presencia de un pico indica una probable fuga. El correlador indica en la pantalla las distancias de los acelerómetros a este punto de sospecha el cual puede ser confirmado directamente alrededor del punto marcado.

Las ventajas del uso del correlador son las siguientes:

- El aparato puede ser usado en zonas ruidosas
- Precisión en la ubicación de la fuga, aproximadamente un metro
- En líneas de conducción se pueden tener rendimientos de más de 10 km por jornada

Hay que tener en cuenta que con esta clase de aparatos no es posible conocer los gastos de fuga y que cerca de las líneas electrificadas se pueden tener errores debido a las interferencias.

d) Observaciones técnicas de los equipos para detectar fugas

Los equipos de detección de fugas se basan en que cuando el agua pasa a través de una turbulencia se provoca un ruido, cuyas causa pueden ser los cambios en el diámetro de la tubería, cambios abruptos de dirección, bombas, consumos y por

supuesto fugas, las cuales pueden ser perforaciones, rajaduras, roturas por completo del tubo, juntas con fuga y válvulas con fuga.

La intensidad y la claridad del ruido de una fuga dependerán de la presión en la tubería, diámetro, material y espesor de la pared de la misma, tamaño del orificio de fuga, el tipo de recubrimiento y relleno del suelo y de la cantidad de agua que se fugue. Un orificio pequeño con una presión alta produce un ruido de mayor frecuencia, además el nivel del ruido se incrementa cerca de piezas especiales como válvulas, cruceros y conexiones T, ya que la obstrucción parcial incrementa la presión y crea turbulencia.

El ruido de fugas es transmitido a lo largo del tubo y del agua misma, así como del suelo que está alrededor. El ruido viaja mucho mejor a través de materiales duros, de esta manera se puede decir que el sonido viaja mejor en el metal que en el asbesto-cemento y mejor en éste último que en el plástico. El material del suelo no transmite tanto el sonido como las tuberías. Las arenas transmiten el sonido de una manera menos eficaz que los suelos bien compactados con una superficie pavimentada. Los ruidos del ambiente como pasos, tráfico vehicular, máquinas, etcétera, intervienen con la detección. Muchos de estos ruidos tienen frecuencias muy parecidas a las de una fuga. En ocasiones es conveniente trabajar en horarios nocturnos para eliminar esta clase de ruidos.

Es necesario seguir la metodología apropiada al usar los aparatos de detección acústica. Con la práctica se logra distinguir entre los diferentes sonidos, reconociendo ruidos externos e interferencias y de esta manera poder ser eliminados por el operador. También es esencial que los ruidos como los de las válvulas parcialmente cerradas estén hasta donde sea posible eliminados por una inspección del sitio antes de que tenga lugar una excavación.

En la ciudad de Morelia Michoacan las pérdidas por fugas de agua potable en la red de distribución es del 65% del total de agua potable que se distribuye, la mayor incidencia de las fugas de agua se presenta en el centro de la ciudad y

colonias adyacentes. Las pérdidas económicas ascienden a 19 millones de pesos mensuales.

El Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Morelia (OOAPAS) utiliza un robot para la detección y localización de las fugas de agua potable, equipado con una videocámara de inspección de tuberías que se introduce en los ductos y se comanda en una computadora, la cual envía imágenes a un monitor en el que se pueden observar las fisuras. El robot se introduce en forma manual o motorizada con un carrito, tiene un alcance de 20 metros y cuenta además del equipo mencionado con un trazador de tuberías plásticas, un micrófono de piso, prelocalizador de fugas de agua y dos complementos medidores de flujo. Ver equipos en el Anexo A “Equipo e Instrumentación para localización de de Fugas de Agua Potable en Redes de Distribución”.

II.4 PREVENCIÓN DE FUGAS

El agua es vida y por esta razón el usuario en general debe ser conciente y estar totalmente convencido de la importancia de tener presente el vital líquido, ya sea en los hogares, industrias o el campo, con la simple apertura de una llave o válvula, lo que obliga a racionalizar su uso. Los elementos de un sistema de distribución de agua potable se indica a continuación:

- Distribución que está conformada por las tuberías principales y secundarias.
- Medición realizada mediante medidores de flujo o de volumen.
- Almacenaje compuesto por cisternas, tanques y tinacos, etc.
- Extracción, ésta se realiza mediante el uso de bombas.

En general la prevención y control de las pérdidas por fuga en un sistema de distribución de agua potable, consiste en un proceso actualizado constantemente. La primera parte de este proceso que se debe considerar es la información inicial, que permite poner en práctica un programa de control de pérdidas por fuga de agua potable, esto hace posible la aplicación de la metodología correspondiente.

La información debe contener lo siguiente:

- Planos al detalle y vigentes de la red de distribución que contenga la ubicación y estado de válvulas, hidrantes, tanques de regulación, tuberías de conducción que alimentan a la población, además información de la presión en la red y de la topografía del sitio.
- Un padrón de usuarios actualizado que incluya el tipo de medidor, su estado y fecha de instalación.
- Datos estadísticos mensuales del consumo total de cada usuario.
- Datos estadísticos del volumen entregado a los habitantes del lugar.
- Planos de uso del suelo y división de estratos socioeconómicos.
- Detalles del programa de control de pérdidas que se realice en ese momento.

La segunda parte es la evaluación de la situación actual que permite realizar un análisis estadístico de fugas de agua potable, estableciendo los parámetros correspondientes a la tendencia de ocurrencia, índices, patrones de falla y reparación de fugas, a la determinación de sub y sobremedición de 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 consumo realizadas en sectores aislados de la red, llamados distritos hidrométricos, se estima el volumen de fugas en la red, calculado como la diferencia entre el volumen entregado menos el volumen 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.

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Es conveniente mencionar que las partes de la evaluación de pérdidas más significativas que influyen notablemente con los resultados que se obtienen, son la determinación del consumo doméstico 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.

La tercera parte se refiere a la instalación y sustitución de micromedidores, para ello se establece un programa de adquisición e instalación de micromedidores, que toman 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.

Otro tipo de prevención de fugas se puede lograr con la implementación de programas de mantenimiento preventivo, es decir, revisando cada 6 meses todos los accesorios y equipos de las instalaciones hidráulicas en redes de distribución y de las viviendas.

También se puede lograr habilitando las redes de distribución con válvulas reductoras de presión y válvulas de seccionamiento, esto ayudará a reducir las pérdidas por fugas de agua potable, generadas por el incremento de presión en las tuberías de las redes de distribución; usando accesorios de marcas que cumplan con las normas oficiales vigentes del país de origen; colocando válvulas ahorradoras de descarga en mingitorios, utilizando inodoros de bajo consumo, montando equipos sensores infrarrojos que permitan lograr ahorros significativos además de aumentar la comodidad e higiene para los usuarios, colocando restrictores de flujo en las regaderas, en las llaves de los lavabos, fregaderos, tarjas y lavaderos, y por último cambiando los hábitos de los usuarios.

Las fugas de agua potable son parte de los grandes problemas de la falta de un buen servicio a los usuarios y sin duda también de los problemas técnicos y económicos de una población, por el uso de materiales de mala calidad, edad de las tuberías y del diseño de las redes; esto en el aspecto técnico y en el económico por falta de un padrón efectivo que permita el cobro del servicio a todos los usuarios en general mediante la facturación del gasto de cada uno de ellos, incluyendo a todas las instituciones gubernamentales.

La cobertura actual en las poblaciones rurales es del orden de un 30% en relación con la cobertura de las poblaciones urbanas, ésta diferencia en la cobertura se presenta también entre la trece regiones hidrológicas administrativas en que esta dividida la República Mexicana, así por ejemplo las regiones del Golfo y Península de Yucatán presentan menor porcentaje de cobertura que las del centro y norte de la República Mexicana.

La escasez de agua es cada vez mayor a causa del acelerado crecimiento de la población y de la presencia de fugas en las redes de distribución, esto ha permitido que organismos como el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), se aboque al estudio de la evaluación de fugas en 15 ciudades de la República Mexicana, obteniendo como resultado que el 73% de las fugas de agua potable corresponden a tomas domiciliarias y el 27% a la red principal.

Estas pérdidas se pueden reducir mediante la implementación de un programa de detección y control de fugas con el uso de equipos mecánicos y electrónicos que detectan las fugas no visibles, que son las demás interés del total de su clasificación. Las actividades de detección podrán disminuir en la medida que se tengan programas de mantenimiento efectivos.

Para disminuir el problema de las fugas es necesario implementar programas de mantenimiento preventivo en los accesorios de las tomas domiciliarias y redes de distribución; uso de materiales mas resistentes y flexibles en las tuberías que absorban los asentamientos diferenciales debidos a las extracciones de agua de las fuentes de abastecimiento, sismos y tránsito vehicular pesado.

CAPÍTULO III

SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

CAPÍTULO III

SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

La operación de las redes de agua potable, en servicio de la República Mexicana, presenta serios problemas estructurales, muchos de los sistemas de agua potable operan en forma empírica, confiando en la experiencia del personal. No se dispone de herramienta para el análisis del funcionamiento hidráulico de la red de agua potable.

La sectorización de la red de agua potable, es la acción de formar zonas de suministro de agua por separado, dentro de la red de distribución. Y también se utiliza para facilitar la reducción de pérdidas, se evalúa y mejora el funcionamiento hidráulico de la red de distribución de agua potable, al integrar el criterio de Distritos Hidrométricos definidos anteriormente, y sectores en su diseño y operación. Cada uno de los sectores, podrá operarse independientemente a los otros. En la sectorización se trata los aspectos relacionados con el trazo de la red, atendiendo los criterios de operación.

El hablar de sectorización de la red de agua potable, basándose en Distritos Hidrométricos como ya se mencionó en el Capítulo II "Detección y Recuperación de Fugas en una Red de Distribución", es benéfico para el sistema, ya que se tiene un control de eficiencia de su funcionamiento en el sistema que distribuye agua, y facilita la recuperación de pérdidas de agua dentro de cada uno de los sectores, y la evaluación de consumos que se pueden comparar con los de facturación.

Se deberá formar un modelo conceptual de la red de agua potable y evaluar su funcionamiento hidráulico, a partir de los datos de las líneas principales de distribución, cotas topográficas, diámetros, ubicación de válvulas, etcétera, así se conocerá su operación, y se introducirá el criterio de Distritos Hidrométricos para dar paso a la Sectorización de la Red.

III.1 OBTENCION DE DATOS PARA EL MODELO Y CÁLCULO DE LA RED DE AGUA

En la obtención de datos para el modelo de la red de agua potable, se tiene el catastro de la red de agua, según el organismo municipal o delegacional que esté encargado del manejo de instalaciones de las redes de agua potable, y tiene por objeto tener un conocimiento ordenado del estado físico que guarda la red de distribución.

El catastro esta conformado de fichas técnicas, que sirven para ubicar los elementos de la red, así como para referir las características físicas como son: el tipo de material, diámetro de la tubería, profundidad, estado de deterioro y elementos que ayudan a identificar cada elemento de la red de agua potable.

La captura de datos en campo se puede realizar destapando cajas de válvulas, utilizando los reportes de reparación de fugas de tramos de tubería.

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

- **Actividades previas.** Se requiere de datos de la urbanización de la ciudad.
- **Recopilación y análisis de información.** Se identifican planos existentes, la cobertura total de la red, su actualización y tipos de datos que contiene.
- **Evaluación actual.** Se dictaminan las áreas que faltan por catastrar, los datos de cruceros, válvulas y tuberías que no estén incluidos.
- **Elaboración del proyecto.** Se seleccionan las normas de ejecución del catastro (simbología, clasificación y escalas), el procedimiento de actualización e información que contendrá el catastro (planos por sectores, fichas de cruceros y registros por tramos), enseguida se enumeran los equipos localizadores y los equipos de computo que se llegue a utilizar, se selecciona al personal para cada área de operación; y finalmente, se

definen los espacios y se equipan las cuadrillas para realizar las tareas correspondientes.

- **Ejecución.** Se capacita al personal en el uso de paquete de cómputo como por ejemplo el EPANET, y adquirir los equipos de localización de tuberías y válvulas.
- **Evaluación y control.** Se calculan los indicadores siguientes y se evalúan periódicamente:

Para obtener el porcentaje de cobertura del catastro se dividirá la superficie obtenida en planos entre la superficie total urbana de la región en estudio.

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

Del mismo modo para obtener el porcentaje de actualización se deberá dividir el número de planos corregidos entre el número de planos totales de la región

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

Y por último para la obtención del porcentaje de confiabilidad se deberá dividir el número de planos corregidos entre el número de registros de la región.

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

III.1.1 CATASTRO DE INSTALACIONES

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

Los principales elementos son los siguientes:

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

- Fuentes de abastecimiento y captaciones. Tipo de fuente (lago, pozo, presa, río, etc), caudales máximos, mínimo y medio y extracción.
- Conducciones. Tipo de material (acero, asbesto-cemento, cloruro de polivinilo; que sus siglas en inglés son PVC, concreto), diámetro, longitud, caudal, edad y dispositivos de protección (torre de oscilación, tanque unidireccional, etcétera).
- Plantas de bombeo. Potencia, carga manométrica, caudal, edad y eficiencia.
- Subestaciones eléctricas. Cantidad, capacidad y tensión.
- Plantas potabilizadoras. Tipo de tratamiento (cloración, filtración lenta, filtración rápida, etcétera), capacidad instalada, edad y eficiencia.
- Tanques de regularización. Tipo de tanque (elevado, superficial o subterráneo), material (mampostería, concreto o acero), capacidad, edad y elevación manométrica.

La elaboración del proyecto del catastro de instalaciones se asignará al área de operación, y se debe hacer un sistema de información computarizado para el manejo y actualización de todos los datos.

En el manejo de esta información se debe tener en cuenta que en cada uno de los elementos se pueden tener fugas de agua, y es preciso que el personal del área de operación, mantenga la información a la mano para poder auxiliar al área de mantenimiento en el momento en que se reporten fugas en el sistema de distribución de agua potable.

El área de mantenimiento realizará recorridos y vigilancia de la red de distribución, así como atención a la población al reporte de una fuga de agua, lo ideal de revisar las líneas de conducción de agua sería tener reportes semanales o quincenales para verificar qué consumos se tienen, y tener un mayor control con los medidores en cada una de las colonias pobladas.

III.1.2 DATOS HIDRÁULICOS Y MODELO DE LA RED

Para hacer el modelo de la red de agua potable, retomando que un modelo es una reproducción de algún objeto a escala, que sirve para realizar experimentos y pruebas que difícilmente se harían en uno real, así en este modelo de la red de agua se recopilan los datos correspondientes al funcionamiento hidráulico como tamaños de tubería, diámetros, gastos de agua que entran y salen en la red, materiales con la que fue construida, presiones en la tubería, ya que se tienen éstas características, se toman en cuenta:

Las fuentes de suministro, como pozos, manantiales, captación pluvial, ríos, lagunas, y que se utilicen plantas de bombeo para llevar el agua desde otros sitios.

Además, se verifican:

- Gasto y presión en la salida de las bombas de suministro a la red.
- Datos del tanque de regulación (elevación, volumen, carga disponible, etc.).

La red de suministro se refiere a la red que distribuye el agua a la población, y se verifican sus:

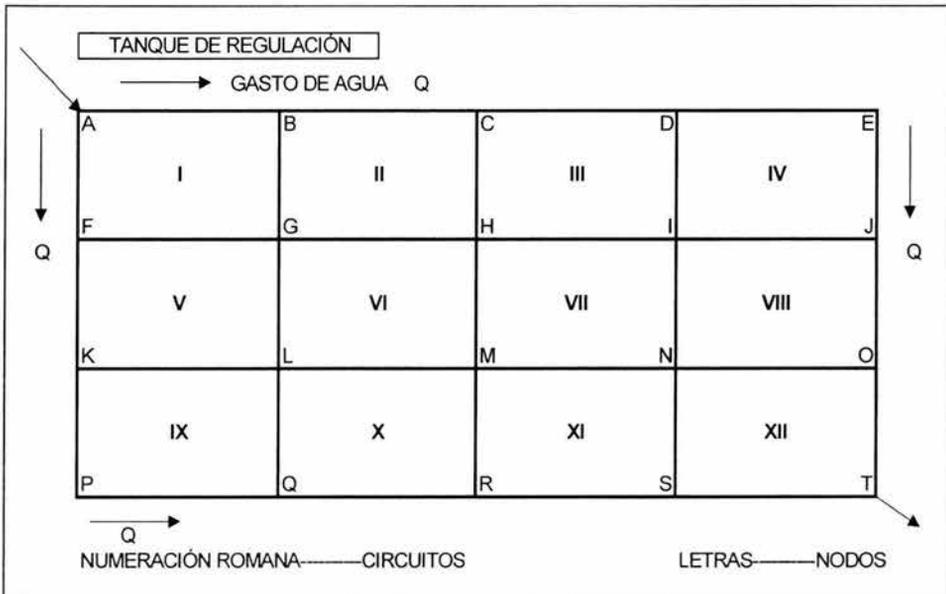
- Características de los diferentes nodos de la red; tipo de nodo, gastos de demanda y cota topográfica.
- Características de los tramos de tubería de la red; tipo de tramo, nodos que conecta, diámetro y rugosidad del tramo que es función del material.

Se entiende por nodo, a la intersección en los tramos de la tubería, a los cruces que existan y coincidan en este caso de dos o más tuberías.

Para la formación del modelo de la red de agua, se hace un plano esquemático de la red de distribución de agua, que sirve para localizar datos de los tramos de tubería, nodos, gasto en cada uno de los tramos, especificaciones técnicas, etc.

En seguida se muestra un plano de la red para ejemplificar, las características de la tubería dentro de la red de distribución de agua potable.

FIGURA III.1 PLANO ESQUEMATICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN



Este plano sirve para incluir resultados de simulaciones en la fase de verificación del modelo y después para la fase de calibración. Ya diseñado el plano de la red de agua potable, se especificarán los siguientes datos:

De los nodos: Número, gastos de entrada y salida, en l/s, cota topográfica, y en los nodos de alimentación la carga piezométrica.

- De los tramos: Número, longitud en metros, diámetro de la tubería, rugosidad, tipo de tramo; en el caso de tramos especiales (válvulas de seccionamiento, check, placa de orificio, etcétera).
- Características de la fuente de alimentación: Curvas de las bombas o cota piezométrica y topografía de los tanques.
- Se deben ubicar las válvulas que puedan afectar el funcionamiento de la red de agua potable, ya que pueden estar cerradas, o se cierran por maniobras de los operadores de mantenimiento.

El modelo de la red de distribución de agua, se diseñó para un sistema por gravedad, como el que se muestra en los siguientes esquemas y tablas:

FIGURA III.2 SISTEMA DE AGUA POR GRAVEDAD

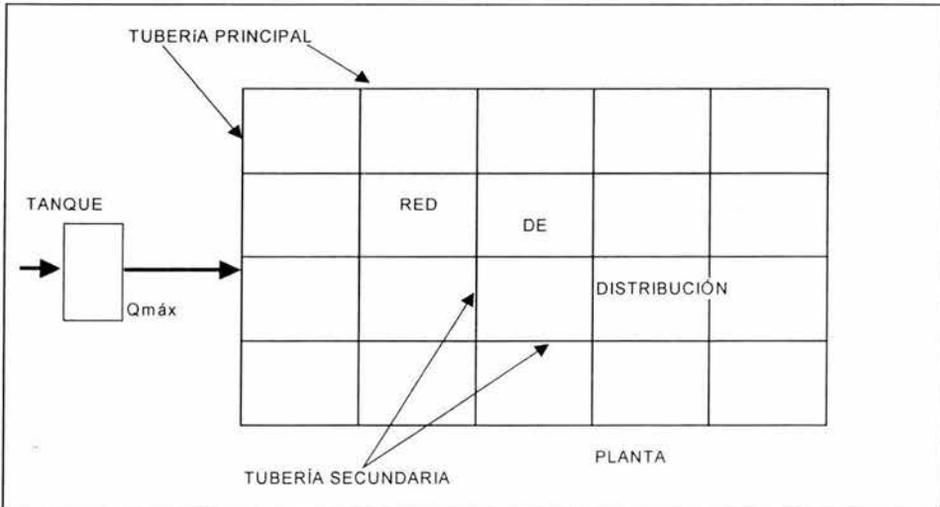


FIGURA III.3 SISTEMA POR GRAVEDAD

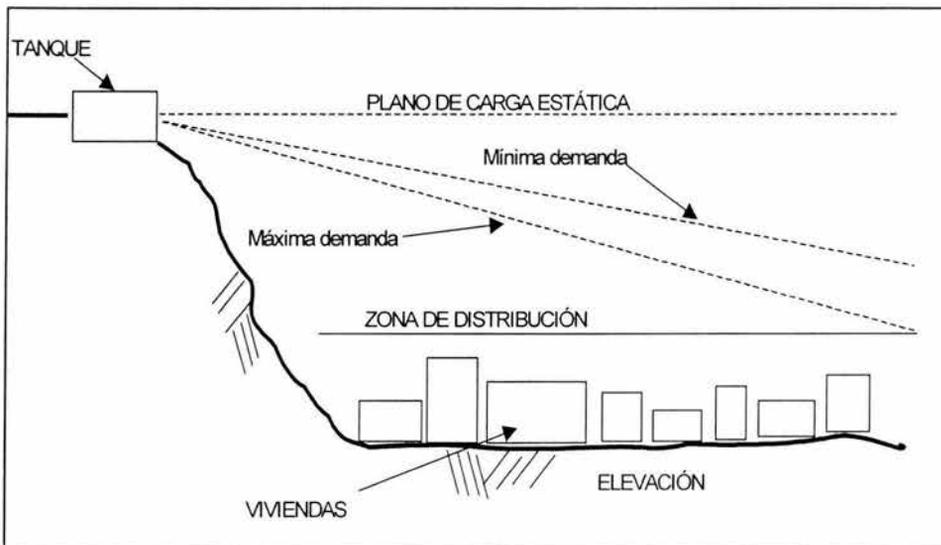


TABLA III.1 CARACTERÍSTICAS DE NODOS DE LA RED

NODOS	TIPO DE NODO	DEMANDA (l/s)
A	Fuente	30.0
B	Simple	-
C		-
D		-
E	Demanda	0.5
F	Simple	-
G	Demanda	1.0
H		1.0
I		1.0
J		3.0
K	Simple	-
L	Demanda	2.0
M		0.5
N		0.8
O		0.8
P		2.0
Q		6.0
R		5.0
S		3.0
T		3.5

La cota topográfica supuesta es a 2 metros sobre el nivel del mar.

Esta tabla contiene las características de los nodos de la red de distribución de agua potable, que son el tipo de nodo que se tiene en la red, y que gasto de agua tiene o pasa por el nodo, se toma en cuenta que estas características fueron propuestas hipotéticamente para el ejemplo que se presenta más adelante, teniendo en cuenta el análisis hidráulico y tenga una base para el estudio de la red de distribución de agua potable.

El tipo de nodo que tiene la nomenclatura de fuente, es el nodo donde pasa el gasto principal hacia toda la red de distribución, y que la demanda en la red son distintos gastos que también se propusieron y ya con el análisis hidráulico se corrigen ciertos valores para dejar con mayor exactitud los gastos de agua. Los nodos los podremos identificar en los planos de la red con letras mayúsculas y los circuitos con números romanos, para identificar cada una de las nomenclaturas que se tengan en este trabajo de tesis.

TABLA III.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS TRAMOS DE LA RED

TRAMO	TIPO	NODO		LONGITUD (m)	DIÁMETRO (mm)
		INICIAL	FINAL		
AB	S	A	B	100	150
BC		B	C	90	150
CD		C	D	95	150
DE		D	E	100	150
AF		A	F	90	150
BG		B	G	90	100
CH		C	H	100	100
DI		D	I	95	100
EJ		E	J	100	150
FG		I	F	G	105
GH	G		H	95	100
HI	H		I	95	100
IJ	M	I	J	100	100
FK		F	K	80	150
GL		G	L	80	100
HM	P	H	M	100	100
IN		I	N	95	150
JO		J	O	100	100
KL	L	K	L	100	100
LM		L	M	90	100
MN		M	N	95	100
NO	E	N	O	95	100
KP		K	P	80	150
LQ		L	Q	90	100
MR		M	R	80	100
NS		N	S	80	100
OT		O	T	90	150
PQ		P	Q	105	150
QR	Q	R	95	150	
RS	R	S	100	150	
ST	S	T	100	150	

El coeficiente de rugosidad en la tubería de Cloruro de polivinilo (PVC) corresponde a 0.0015. Ver Anexo B "Rugosidad absoluta ϵ en tubos comerciales".

III.2 INTERPRETACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL MODELO DE LA RED

En la interpretación y calibración del modelo de la red de distribución de agua, se refiere a los procesos de verificación de datos en cada uno de los elementos del modelo de la red de agua, cuando se tienen los resultados de gastos de agua, presión, pérdidas, etcétera, se comparan con los datos medidos en campo para calibrar el modelo en estudio.

Se mencionan los pasos a seguir dentro la calibración, y que elementos que la conforman de la siguiente manera:

III.2.1 SELECCIÓN DE NÚMERO DE ESTACIONES Y UBICACIÓN

En primer lugar se deben seleccionar los puntos de medición de gasto de agua y su presión. Se puede hacer una tabla con la que contenga los nodos y sus respectivas estaciones de medición para tener puntos estratégicos en la red de distribución. La ubicación de las estaciones es una labor que se realiza en conjunto con los operadores del sistema de la red de distribución, como reglas generales se debe tratar de abarcar todas las zonas de presión de la red de distribución, sitios de bifurcación de líneas con un diámetro mayor a 10 pulgadas (25.4 cm), a las salidas de los cárcamos de distribución y tanques de regularización, puntos críticos de suministro de agua y en general donde se estime que se cubra toda la zona en estudio.

Es importante considerar que al menos los puntos ubicados en los cárcamos o tanques, ubicados antes de la distribución de agua a la red, deben de tener macro medidores calibrados, y medir durante todo el tiempo que dure la campaña de calibración, ya que después se utilizarán para homogeneizar la información.

Estas ubicaciones facilitarán la localización de los cárcamos y tanques, que a continuación se menciona el equipo de medición que se utiliza y el tiempo de medición de aforo de gato de agua y de medición de presión en las estaciones ya mencionadas anteriormente.

III.2.2 EQUIPO DE MEDICIÓN

Una vez que se haya decidido el número de estaciones de medición de gasto y presión, se procede a la selección de los equipos correspondientes para efectuar una medición de gasto adecuada. En las fuentes de abastecimiento de agua potable es común disponer de equipos de medición de gasto y presión, de tipo ultrasónico. En el caso de tener este tipo de equipos de medición, se procede a efectuar una verificación de su estado de funcionamiento, para saber si la información que se requiere es confiable.

En las estaciones seleccionadas para medición de gasto en la red de agua potable, el equipo más recomendable es un tubo Pitot, que su uso es más común en los sistemas de distribución de agua potable, o bien usar equipos ultrasónicos portátiles, si es que se cuenta con ellos. Además que una de las ventajas de los equipos Pitot, es que permiten efectuar mediciones simultáneas de gasto y presión, con lo cual se obtiene más información que con otros equipos.

En cuanto a las estaciones seleccionadas para medición de presión, el equipo más recomendable es un registrador de presión continua, que es de uso común en los sistemas de distribución de agua potable, siendo posible utilizarlos para mediciones que van desde 1 hasta 7 días. En este caso es recomendable usar equipos calibrados para un día de medición y hacer cambios cada 24 horas para verificar que todo funcione adecuadamente.

III.2.3 TIEMPO DE MEDICIÓN

El tiempo de medición de gasto y presión en cada punto de la estación de medición debe ser mínimo de 3 días de operación normal continua y como máximo de 7 días. Normalmente no se cuenta con suficientes equipos para medir simultáneamente, por lo tanto, y con idea de no extender demasiado este período, se deben disponer de entre 6 y 8 equipos para efectuar esta actividad.

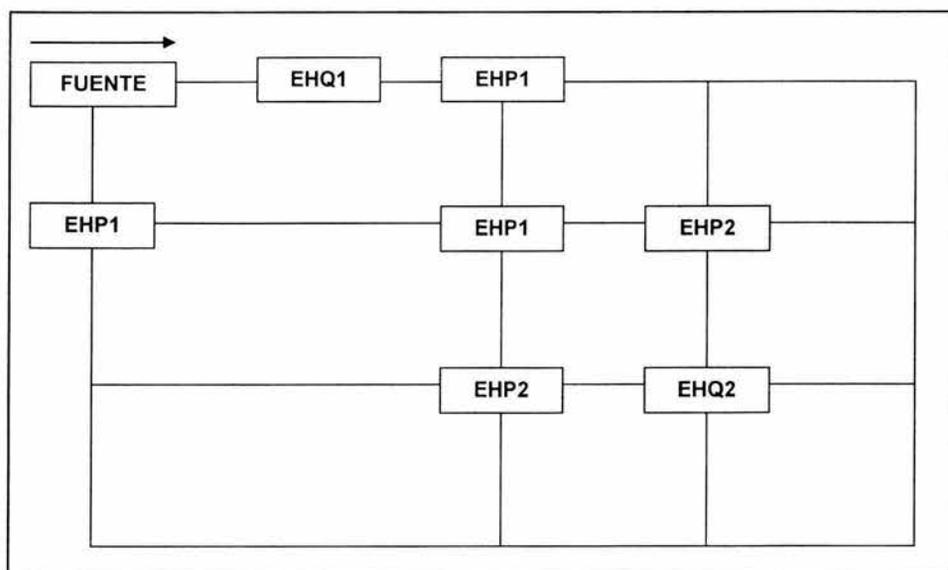
Persiste el problema de que el tiempo de medición de gasto y presión en las estaciones, sea demasiado largo. La forma de optimizar el tiempo de medición, y

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

poder utilizar la información de las estaciones como si hubiese sido simultánea se compone de la siguiente manera propuesta:

- Para la fase 1 se tiene que disponer de cuando menos cuatro equipos (registradores de presión o una combinación de 1 tubo Pitot y 3 registradores) que serán ubicados en la primera fase de medición de gasto y presión (3 a 7 días), con la leyenda cuyo nombre es EHQ1 (Estación Hidrométrica para medición de gasto en la etapa 1) o EHP1 (estación hidrométrica para medición de presión en la etapa 1).
- Para la fase 2, se deja fija una de las estaciones, (en forma de pivote) EHP2 y EHQ2, y se reubican los restantes 3 equipos de medición (es decir no se mueve uno de los equipos y se procede a ubicar los otros 3), en las siguientes etapas se sigue el mismo procedimiento hasta cumplir con todas las estaciones.

FIGURA III.4 ESTACIONES DE AFORO DE GASTO Y PRESIÓN, MÉTODO DE PIVOTE PARA OPTIMIZAR USO DE EQUIPOS DE MEDICIÓN



- EHQ Estación de aforo de gasto de agua
EHP Estación de medición de presión
Fuente Tanque de regulación

III.2.4 VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO DE RED DE AGUA POTABLE

El criterio que se usa para considerar calibrado el modelo de la red de agua potable, considera que las diferencias entre los datos de presión del modelo numérico y medida en campo sean menores a $\pm 20\%$.

Una vez que se dispone de los datos de gasto y presión de campo se debe seguir los siguientes pasos para las condiciones de gasto máximo:

- Ubicar las estaciones de medición de gasto y presión en un plano.
- En una copia del plano se indican los gastos y presiones correspondientes a cada estación.
- Se efectúa una redistribución de los gastos en los nodos de la red de agua potable, a partir de los valores de gasto de agua de las estaciones de medición, que son gastos reales, basados en los consumos de cada tramo de la tubería y que se cumpla la continuidad en los nodos.
- Se modifican los archivos de datos del modelo numérico.
- Se utiliza algún programa de computo como puede ser con la ayuda de una hoja de cálculo como Excel programada en la herramienta de Solver para la solución de redes, o como el EPANET, para facilitar el cálculo de las mediciones.
- De la hoja de resultados se indican los valores obtenidos en el modelo de red de agua potable en cada punto de medición sea gasto y/o presión.
- Comparar los resultados de ambos casos (de campo y por computadora).
- Corregir los datos del modelo numérico con el procedimiento siguiente:
 - 1) Verificar que los datos de los tramos y nodos sean correctos.
 - 2) Verificar en la red la posibilidad de tramos con características diferentes de diámetro, rugosidad, etcétera. Además se debe verificar en campo la posibilidad de existencia de válvulas

- parcialmente cerradas, incluso que existan tramos no identificados en el modelo.
- 3) Que las demandas supuestas en los nodos sean diferentes; en este caso se deben modificar con base en los resultados de campo que son los reales (redistribución de gastos en nodos).
 - 4) Que los datos de gasto y/o presión en las estaciones de suministro sean diferentes. Se debe verificar las curvas características de las bombas de agua y los resultados de las estaciones hidrométricas de las fuentes de abastecimiento.
 - 5) Los coeficientes de rugosidad de las tuberías deben verificarse en campo, o bien, por ensayo y error modificarlos en el programa que se tenga de computo, hasta que el criterio de convergencia se cumpla, ya que se puede estar estimando menores pérdidas de energía, y en realidad por tener rugosidades muy altas en los tramos de la tubería y/o algún tipo de obstrucción.
 - 6) Una vez modificados los datos anteriores, y si persisten diferencias se debe verificar la calibración de los equipos de medición y en su caso repetir algunas mediciones.
 - 7) Ya que están revisadas las posibles fuentes de discrepancia, se modifica el archivo de datos y se ejecuta nuevamente el programa hasta cumplir el criterio de convergencia, en caso contrario se regresa al paso (1).

Después de verificar todas las variables posibles (del paso 1 hasta el paso 7) y que se obtengan resultados similares en el modelo de la red de agua potable, y de medición en el campo, se debe repetir todo el procedimiento completo para la condición de gasto mínimo. Es probable que aún persistan entre el modelo y el prototipo, pero deben ser menores, ya que las pérdidas y el coeficiente de fricción depende de la velocidad del flujo. También puede ocurrir que se presenten condiciones de operación diferentes en las válvulas, hay que cerciorarse de cumplir con estas condiciones, para introducirlas en el modelo y verificar la similitud del modelo y el prototipo.

III.3 ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL SECTOR EN ESTUDIO

Las tendencias actuales en el diseño de redes de distribución de agua potable están dirigidas hacia la optimización de recursos, reduciendo los costos de diseño, operación y mantenimiento de la red de distribución de agua potable, pero con la condición de asegurar la confiabilidad del suministro de agua potable. Para lograr esto, a nivel mundial, se están modificando los criterios de diseño de la red de distribución de agua potable, pasando desde el diseño de costo mínimo a los diseños de optimización de costos, cumpliendo un nivel de confiabilidad.

En la República Mexicana la situación es diferente, ya que se sigue utilizando el tradicional diseño empírico, basado en la experiencia del diseñador, que de alguna manera si funciona, ya que se incluye cierto nivel de experiencia en la red de distribución al ser trazada, de tal forma que es factible pasar de este tipo de diseño, al diseño de confiabilidad, directamente. Con estos criterios de análisis y diseño de redes de distribución de agua potable los costos de construcción inicial se incrementan, pero a la larga los costos de operación y mantenimiento de la red de distribución de agua potable y sobre todo los debidos a fallos de la red de distribución de agua, se reducen en forma apreciable, de tal forma que vale la pena modificar la filosofía de diseño.

Desafortunadamente, los sistemas de distribución aún no han desarrollado niveles o indicadores de eficiencia que permitan realizar un análisis comparativo que refleje las ventajas de incrementar la confiabilidad del sistema de distribución de agua, mejorando el servicio a los usuarios, la eficiencia operativa y los indicadores de funcionamiento hidráulico. Como ya se ha mencionado, la practica de operación de redes en servicio en la República Mexicana presenta severos problemas estructurales, muchos sistemas operan confiando en las experiencias del personal, no disponiendo de herramientas de análisis del funcionamiento hidráulico de la red de agua potable y menos de esquemas de mejoramiento.

De esta forma los cambios, adecuaciones, y ampliaciones son el resultado de estimación de necesidades con base en la experiencia del personal.

III.3.1 MÉTODOS ANÁLISIS DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

El propósito del análisis hidráulico de un sistema de distribución de agua potable es estimar los gastos de agua potable, incluyendo su dirección y la distribución de la presión asociada que se desarrolla dentro del sistema de agua potable. De ésta manera, se dispone de varios métodos para éste análisis entre los cuales se tienen los siguientes:

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 este balanceada hidráulicamente.

Seccionamiento. 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.

Tubería equivalente. Las tuberías en una red de distribución se reemplazarán 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.

Análisis por computadora. Se describen algoritmos para resolver las ecuaciones básicas para el análisis de una red de tubos. 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 como los que ya se han mencionado. Al diseñar un programa que resuelva problemas de redes de flujo, se deben satisfacer las siguientes ecuaciones simultáneamente a través de la red;

Donde:

La sumatoria de los gastos de agua de entrada de los nodos son iguales a la sumatoria de los gastos de agua de salida como se muestra en la expresión:

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

Para cada circuito complejo, la sumatoria de las pérdidas (H) debe ser igual a cero, como se indica en la expresión:

$$\sum H = 0$$

Y para cada tubería, la pérdida será igual al producto del número de tramos (K) por el gasto, que está elevado a un exponente n, cuyo valor dependerá del tipo fórmula a emplearse, que en este caso será la fórmula de Hazen -- Williams.

$$H = K Q^n$$

En los programas de computadora que se han mencionado, la hoja de cálculo en Excel con la herramienta Solver y el programa de aplicación EPANET 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 costo menor. Como el diseño de una red de agua potable para una población, de acuerdo a sus características topográficas, donde se puedan tener más de una solución y así se pueda escoger la ideal a un bajo costo. Todo esto teniendo una proyección hacia el futuro, y se tengan contemplados gastos de operación y mantenimiento.

III.3.2 ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

DATOS GENERALES PARA UNA POBLACIÓN HIPOTÉTICA

La elaboración del análisis hidráulico de la red de distribución, para fines de este trabajo se hará de manera hipotética, suponiendo datos de la población y sus características que se mencionan adelante, y que se presentan de esta manera de que sea una Ciudad de la República Mexicana en general, de cualquier estado y no se involucre a dependencias gubernamentales con datos que no tengan base con las localidades.

Debido a los niveles de fugas de agua en la Republica Mexicana, se estima para éstas, un valor del orden del 40% respecto del caudal suministrado al sector en estudio.

Para la Ciudad en estudio se considera una población de 48,797 habitantes, que registra una tasa anual de crecimiento del orden del 2.6%, que cuenta con 11,578 viviendas aproximadamente, con el crecimiento de su población y el problema de fugas en su redes de distribución de agua, se enfrenta a un reto para llegar a satisfacer de agua a toda su población.

DATOS DE LA POBLACIÓN HIPOTÉTICA EN ESTUDIO

Habitantes:	48,797
Viviendas:	11,578
Ocupantes por vivienda:	4.2 habitantes
Tasa de crecimiento anual:	2.6%
Latitud:	21°17'04"
Longitud:	089°39'48"
Altitud:	2 msnm (metros sobre el nivel del mar).

La red de distribución tiene un gasto máximo de 141 l/s, con un periodo de diseño para el año 2016, y el circuito en estudio en el cual se hizo el análisis, tiene un gasto máximo de 30 l/s. A continuación se tiene la evaluación de la red de distribución con sus respectivos gastos de diseño basándose en la normatividad de la Comisión Nacional del Agua (CNA).

DATOS HIDRÁULICOS

Gasto medio

Es la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades de una población en un día de consumo promedio y se determina por el producto de la dotación de agua por la población dividido entre 86400 que es el número de segundos al día.

Donde:

Q_{med} es Gasto medio diario en lps

D es Dotación en l/hab/día

Pob es Población, en habitantes

$Q_{med} = D \times Pob / 86400$ 86400 es el número de segundos en un día.

Gasto máximo diario

Es el requerido para satisfacer las necesidades de una población en un día de máximo consumo y se determina por el producto del gasto medio obtenido por el coeficiente de variación diaria .

Donde:

$Q_{máx\ día}$ es Gasto máximo diario, en lps

Q_{med} es Gasto medio diario en lps

CVD es Coeficiente de variación diaria

$Q_{máx\ día} = Q_{med} \times CVD$

El coeficiente de variación diaria es un dato para cada estado de la República Mexicana. Y que este dato se tomó del Libro V, 1ª sección, Tema 1, datos básicos del Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, de la Comisión Nacional del Agua, variando éste valor de entre 1.20 y 1.50 .

Gasto máximo horario

Es el caudal requerido para satisfacer las necesidades de una población a la hora de máximo consumo y se determina con el gasto máximo horario obtenido por el coeficiente de variación horaria.

Donde:

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

$Q_{\text{máx hor}}$	es	Gasto máximo horario, en lps
$Q_{\text{máx día}}$	es	Gasto máximo diario, en lps
CVH	es	Coefficiente de variación horaria

$$Q_{\text{máx hor}} = Q_{\text{máx día}} \times \text{CVH}$$

Este coeficiente de variación horaria con valor de 1.50 es recomendado en los datos básicos del Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, de la Comisión Nacional del Agua, ya que su valor varía de entre 1.50 y 2.00 .

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

NORMATIVIDAD TOMADA DEL MANUAL DE DATOS BÁSICOS DE LA COMISION NACIONAL DEL AGUA

Datos de la Ciudad hipotética en estudio:

Temperatura media anual:	26° C
Clima:	Cálido y Húmedo
Temperatura media en verano	36° C
Temperatura media en invierno	17° C
Precipitación media:	180 mm

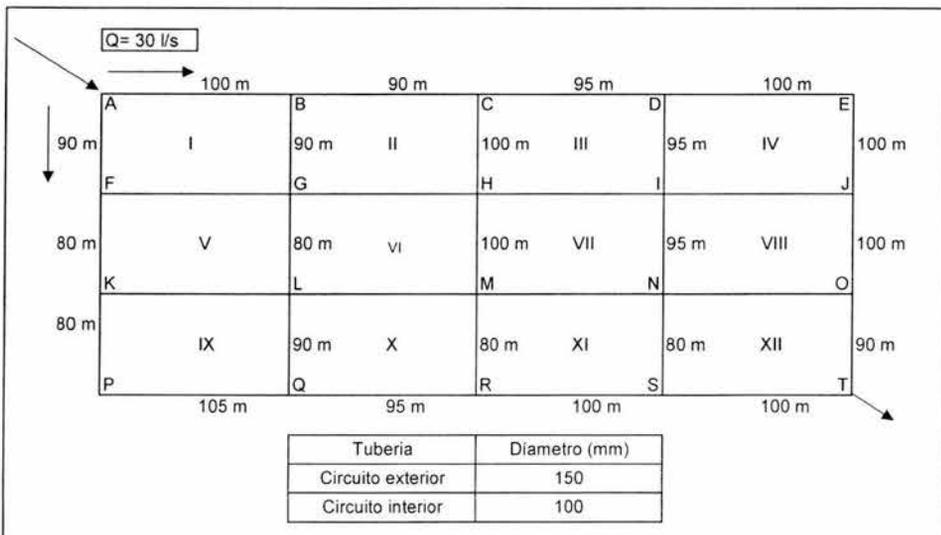
Teniendo como dato el $Q_{\text{máx hor}}=141$ l/s y el coeficiente de variación horaria $\text{CVH}=2$, se calcula el $Q_{\text{máx día}}$, y despejándolo de la fórmula $Q_{\text{máx hor}}=Q_{\text{máx día}} \times \text{CVH}$, se obtiene que $Q_{\text{máx día}}=70.5$ l/s .

Y a su vez que tenemos el gasto máximo diario, y el coeficiente de variación diaria de 1.40, despejando de la formula $Q_{\text{máx día}}=Q_{\text{med}} \times \text{CVD}$, se obtiene el gasto medio $Q_{\text{med}}=50.357$ l/s. Ya teniendo el gasto medio se calcula la dotación, de igual manera despejando de la formula $Q_{\text{med}}=D \times \text{Pob}/86400$, y se tiene que la dotación $=89.16$ l/hab/día. El sector supuesto para el análisis de la red de distribución de agua potable tiene un gasto de agua de entrada de 30 l/s, y que se distribuye en los pequeños circuitos que lo conforman la red principal primaria.

El sector I en estudio está compuesto de 12 circuitos, con tuberías de diámetro de 4 y 6 pulgadas (10.16 y 15.24 cm, respectivamente) en el circuito exterior, donde llega un gasto de 30 l/s, y en este circuito I se hace el análisis hidráulico, por medio de la formula de Hazen-Williams para determinar las características de la red de agua potable, teniendo en cuenta que este circuito I tiene un índice del 40% de perdidas por fugas de agua, que por este problema se adopta la medida de la sectorización, poniendo algunas medidas de solución para evitar que el índice de fugas crezca, y que al contrario, disminuya en toda la red, y después el mismo método se pueda aplicar en toda la red principal.

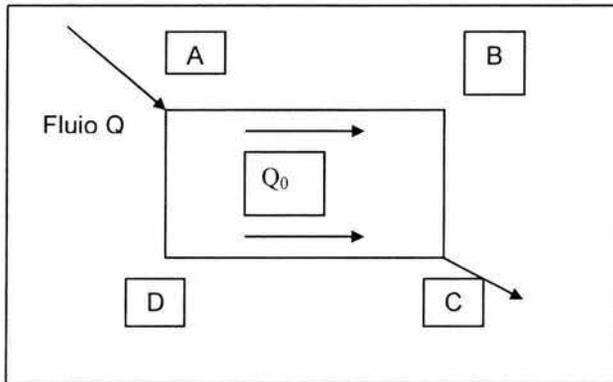
En la siguiente figura, se muestra la red en estudio, el circuito I con las características físicas, como la longitud, de cada uno de los tramos, con sus diámetros correspondientes, el gasto que se tiene de entrada, la numeración de cada uno de los circuitos, cabe mencionar que los datos fueron propuestos para un análisis ideal en la red de distribución de agua, y que nos sirva para tener una visión clara de qué tipo de red de distribución es y que facilite el la comprensión del problema.

**FIGURA III.5 CROQUIS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN
DE AGUA POTABLE EN ESTUDIO**



Para el análisis de la red de distribución de agua potable, se basó en el método de Cross, que consiste en suponer unos caudales en todas las ramas de la red de distribución, y a continuación hacer un balance de las pérdidas de carga calculadas, en el lazo o circuito único mostrado en la Figura III.6, verificando que los caudales en cada rama del lazo sean los correctos.

FIGURA III.6 CIRCUITO ÚNICO DE ANÁLISIS HIDRÁULICO



$$(H_L)_{ABC} = (H_L)_{ADC} \quad \text{ó} \quad (H_L)_{ABC} - (H_L)_{ADC} = 0 \dots\dots\dots(1)$$

Para aplicar esta expresión (1) que se obtiene de la Figura III.6 “Circuito Único de Análisis Hidráulico”, la pérdida de carga en función del caudal ha de ponerse en la forma $H_L = KQ^n$. En el caso se utiliza la fórmula de Hazen - Williams, y la expresión anterior toma la forma $H_L = KQ^{1.85}$.

Como se suponen unos caudales Q_0 , el caudal verdadero Q en una tubería cualquiera de la red pueda expresarse $Q = Q_0 + \Delta$, donde Δ es la corrección que ha de aplicarse a Q_0 . Entonces mediante el desarrollo del binomio.

$$KQ^{1.85} = K(Q_0 + \Delta)^{1.85} = K(Q_0^{1.85} + 1.85Q_0^{1.85-1} \Delta + \dots)$$

Se desprecian los términos a partir del segundo por ser pequeño Δ comparando con Q_0 . Para el lazo o circuito mostrado en la Figura III.6 “Circuito Único de Análisis Hidráulico”, al sustituir en la ecuación (1) se obtiene:

$$K(Q_0^{1.85} + 1.85Q_0^{0.85} \Delta) - K(Q_0^{1.85} + 1.85Q_0^{0.85} \Delta) = 0$$

Despejando Δ

$$\Delta = \frac{-K(Q_0^{1.85} - Q_0^{1.85})}{1.85K(Q_0^{0.85} - Q_0^{0.85})} \dots\dots\dots(2)$$

En general para un circuito más complicado se tiene :

$$\Delta = - (\sum KQ_0^{1.85} / 1.85\sum KQ_0^{0.85}) \dots\dots\dots(3)$$

Pero $KQ_0^{1.85} = H_L$ y $KQ_0^{0.85} = H_L/Q_0$ por lo tanto:

$$\Delta = \frac{-\sum(H_L)}{1.85\sum(H_L/Q_0)} \dots\dots\dots(4)$$

Al utilizar la ecuación (4) debe ponerse cuidado en el signo del numerador. La ecuación (1) pone de manifiesto que los caudales que coinciden con el giro de las manecillas del reloj producen pérdidas de carga en el mismo sentido, ya que los caudales no coincidentes con el giro de las manecillas del reloj producen caídas de carga también en sentido contrario. Es decir, el signo menos se asigna a todas las magnitudes hidráulicas cuyo sentido sea contrario al de las manecillas del reloj, o lo que es lo mismo al caudal Q y a las pérdidas de carga H_L .

Para evitar errores en los cálculos debe observarse siempre este convenio de signos. Por otra parte, el denominador de la ecuación (4) tiene siempre signo positivo.

A continuación se presentan las fórmulas que se utilizaron para el análisis de la red de distribución de agua potable, mostrando cada uno de sus elementos que conforman cada fórmula utilizada en el desarrollo de este ejemplo. La fórmula para calcular el área de la tubería está dada de la siguiente manera:

A = área de la tubería en estudio

d = diámetro de la tubería

$\pi = 3.1416$

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Para el cálculo del radio hidráulico que es la división del diámetro entre 4, y se obtiene:

$$R = \frac{D}{4}$$

donde : R = radio hidráulico

D = diámetro de la tubería

Para el cálculo de la pérdida se conforma en la siguiente fórmula:

$$H_L = L \left(\frac{Q}{0.85AC_L R^{0.63}} \right)^{1.852}$$

H_L = Pérdida de energía para la fórmula de Hanzen – Williams

L = Longitud de la tubería

Q = Gasto de agua la red de distribución

C_L = Coeficiente de Hanzen – Williams, con valor de 100

Todos los datos se cargaron a la computadora, la longitud, diámetros, gastos de agua, y las pérdidas de energía, en hojas de cálculo de Excel y se hicieron los cálculos correspondientes, con los datos de la red de distribución y el manejo de las fórmulas, se aplicó el método de Cross (anteriormente explicado).

En el que se hicieron tres iteraciones tratando de ajustar el modelo lo más posible a uno real, en las columnas se pusieron cada una de las variables como área, diámetro, longitud, pérdida de carga, Δ la corrección en cada circuito, el tramo correspondiente de cada pequeño circuito y los gastos que se fueron ajustando en cada iteración.

Y en el lado izquierdo de la tabla se pusieron cada uno de los circuitos que conforman al circuito principal con su numeración correspondiente para tener una visión clara del ejemplo en estudio.

En cada una de las tablas se indica las iteraciones que se efectuaron, son tres tablas, con los resultados arrojados en los cálculos, y que de acuerdo con el método de Cross es suficiente y correcto el hacer tres iteraciones para que resulte un método válido.

TABLA III.3 ANALISIS HIDRÁULICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN
(1^{ra} ITERACIÓN)

CIRCUITO	TRAMO	LONGITUD (mm)	DIAMETRO (mm)	Q (l/s)	H (m)	H/Q	Δ	Q2 (l/s)	H2 (m)
I	AB	100	0.15	12	0.6014	0.0501	1.5521	13.5521	0.7534
	BG	90	0.1	4	0.5099	0.1275	0.9675	4.9675	0.7616
	GF	105	0.1	6	1.2605	0.2101	2.2648	-3.7352	0.5240
	FA	90	0.15	18	1.1469	0.0637	1.5521	-16.4479	0.9705
Σ					-1.2961	0.4514			0.0205
II	BC	90	0.15	8	0.2554	0.0319	0.5846	8.5846	0.2911
	CH	100	0.1	4	0.5666	0.1416	-0.7045	3.2955	0.3957
	HG	95	0.1	5	0.8137	0.1627	1.4543	-3.5457	0.4305
	GB	90	0.1	4	0.5099	0.1275	-0.9675	-4.9675	0.7616
					-0.5016	0.4638			-0.0505
III	CD	95	0.15	4	0.0747	0.0187	1.2891	5.2891	0.1253
	DI	95	0.1	2	0.1491	0.0745	0.1091	2.1091	0.1645
	IH	95	0.1	4	0.5382	0.1346	1.333	-2.667	0.2541
	HC	100	0.1	4	0.5666	0.1416	0.7045	-3.2955	0.3957
					-0.8810	0.3694			-0.36
IV	DE	100	0.15	2	0.0218	0.0109	1.18	3.18	0.0514
	EJ	100	0.15	1.5	0.0128	0.0085	1.18	2.68	0.0374
	JI	100	0.1	3	0.3326	0.1109	1.4046	-1.5954	0.1033
	ID	95	0.1	2	0.1491	0.0745	-0.1091	-2.1091	0.1645
					-0.4471	0.2048			-0.179
V	FG	105	0.1	6	1.2605	0.2101	-2.2648	3.7352	0.5240
	GL	80	0.1	4	0.4532	0.1133	0.157	4.157	0.4867
	LK	100	0.1	4	0.5666	0.1416	-1.1505	-5.1505	0.9048
	KF	80	0.15	12	0.4811	0.0401	-0.7127	-12.7127	0.5354
					0.6661	0.5051			-0.4295
VI	GH	95	0.1	5	0.8137	0.1627	-1.4543	3.5457	0.4305
	HM	100	0.1	4	0.5666	0.1416	-0.8257	3.1743	0.3692
	ML	90	0.1	2	0.1412	0.0706	-0.8535	-2.8535	0.2728
	LG	80	0.1	4	0.4532	0.1133	-0.157	-4.157	0.4867
					0.7857	0.4883			0.0402
VII	HI	95	0.1	4	0.5382	0.1346	-1.333	2.667	0.2541
	IN	95	0.1	2	0.1491	0.0745	0.1807	2.1807	0.1750
	NM	95	0.1	1.5	0.0875	0.0583	-0.6634	-2.1634	0.1724
	MH	100	0.1	4	0.5666	0.1416	0.8258	-3.1742	0.3692
					0.0333	0.4091			-0.1125
VIII	IJ	100	0.1	3	0.3326	0.1109	-1.4046	1.5954	0.1033
	JO	100	0.15	1.5	0.0128	0.0085	-0.2246	1.2754	0.0095
	ON	95	0.1	0.75	0.0242	0.0323	-0.7552	-1.5052	0.0881
	NI	95	0.1	2	0.1491	0.0745	-0.1807	-2.1807	0.1750
					0.0940	0.2262			-0.1503
IX	KL	100	0.1	4	0.5666	0.1416	1.1505	5.1505	0.9048
	LQ	90	0.1	4	0.5099	0.1275	0.454	4.454	0.6222
	QP	105	0.1	6	1.2605	0.2101	0.4378	-5.5622	1.0955
	PK	80	0.15	8	0.2271	0.0284	0.4378	-7.5822	0.2046
					-0.4111	0.5076			0.2269
X	LM	90	0.1	2	0.1412	0.0706	0.8535	2.8535	0.2728
	MR	80	0.1	4	0.4532	0.1133	-0.6357	3.3643	0.3289
	RQ	95	0.15	4	0.0747	0.0187	-0.01622	-4.01622	0.0753
	QL	90	0.1	4	0.5099	0.1275	-0.454	-4.454	0.6222
					0.0099	0.3301			-0.0958
XI	MN	95	0.1	1.5	0.0875	0.0583	0.6634	2.1634	0.1724
	NS	80	0.1	2	0.1256	0.0628	0.0889	2.0889	0.1361
	SR	100	0.15	3	0.0461	0.0154	0.6195	-2.3805	0.0301
	RM	80	0.1	4	0.4532	0.1133	0.6357	-3.3643	0.3289
					-0.2863	0.2498			-0.0505
XII	NO	95	0.1	0.75	0.0242	0.0323	0.7552	1.5052	0.0881
	OT	90	0.15	1.5	0.0115	0.0077	0.5306	2.0306	0.0202
	TS	100	0.15	2	0.0218	0.0109	0.5306	-1.4694	0.0123
	SN	80	0.1	2	0.1256	0.0628	-0.0889	-2.0889	0.1361

**DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS
EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE**

**TABLA III.4 CONTINUACIÓN DEL ANÁLISIS HIDRÁULICO
(2^{da} ITERACIÓN)**

CIRCUITO	TRAMO	Q2 (l/s)	H2 (m)	H/Q	Δ	Q3 (l/s)	H3 (m)
I	AB	13.5521	0.7534	0.0556	-0.02714	13.5250	0.7506
	BG	4.9675	0.7616	0.1533	-0.09085	4.8767	0.7360
	GF	3.7352	0.5240	0.1403	-0.51564	-4.2508	0.6658
	FA	16.4479	0.9705	0.0590	-0.02714	-16.4750	0.9735
			0.0205	0.4082			-0.1527
II	BC	8.5846	0.2911	0.0339	0.06371	8.64831	0.2951
	CH	3.2955	0.3957	0.1201	-0.05501	3.24049	0.3836
	HG	3.5457	0.4305	0.1214	0.11195	-3.43375	0.4057
	GB	4.9675	0.7616	0.1533	0.09085	-4.87665	0.7360
			-0.0505	0.4287			-0.463
III	CD	5.2891	0.1253	0.0237	0.6138	5.9029	0.1536
	DI	2.1091	0.1645	0.0780	0.0542	2.1633	0.1724
	IH	2.667	0.2541	0.0953	0.4501	-2.2169	0.1804
	HC	3.2955	0.3957	0.1201	0.5501	-2.7454	0.2822
			-0.36	0.3170			-0.1366
IV	DE	3.18	0.0514	0.0162	0.5596	3.7396	0.0694
	EJ	2.68	0.0374	0.0140	0.5596	3.2396	0.0532
	JI	1.5954	0.1033	0.0647	0.1744	-1.421	0.0833
	ID	2.1091	0.1645	0.0780	-0.0542	-2.1633	0.1724
			-0.179	0.1729			-0.1331
V	FG	3.7352	0.5240	0.1403	0.51564	4.25084	0.6658
	GL	4.157	0.4867	0.1171	0.5367	4.6937	0.6095
	LK	5.1505	0.9048	0.1757	0.7159	-4.4346	0.6858
	KF	12.7127	0.5354	0.0421	0.4885	-12.2242	0.4979
			-0.4295	0.4752			0.0916
VI	GH	3.5457	0.4305	0.1214	-0.11195	3.43375	0.4057
	HM	3.1743	0.3692	0.1163	-0.21194	2.96236	0.3249
	ML	2.8535	0.2728	0.0956	-0.1954	-3.0489	0.3084
	LG	4.157	0.4867	0.1171	-0.5367	-4.6937	0.6095
			0.0402	0.4504			-0.1873
VII	HI	2.667	0.2541	0.0953	-0.4501	2.2169	0.1804
	IN	2.1807	0.1750	0.0802	-0.2215	1.9592	0.1435
	NM	2.1634	0.1724	0.0797	0.0567	-2.1067	0.1642
	MH	3.1742	0.3692	0.1163	0.21194	-2.96226	0.3248
			-0.1125	0.3715			-0.1651
VIII	IJ	1.5954	0.1033	0.0647	-0.1744	1.421	0.0833
	JO	1.2754	0.0095	0.0074	0.3852	1.6606	0.0154
	ON	1.5052	0.0881	0.0585	0.2326	-1.2726	0.0645
	NI	2.1807	0.1750	0.0802	0.2215	-1.9592	0.1435
			-0.1503	0.2109			-0.1093
IX	KL	5.1505	0.9048	0.1757	-0.7159	4.4346	0.6858
	LQ	4.454	0.6222	0.1397	-0.3746	4.0794	0.5288
	QP	5.5622	1.0955	0.1970	-0.2274	-5.7896	1.1799
	PK	7.5622	0.2046	0.0271	-0.2274	-7.7896	0.2161
			0.2269	0.5394			-0.1814
X	LM	2.8535	0.2728	0.0956	0.1954	3.0489	0.3084
	MR	3.3643	0.3289	0.0978	0.0402	3.4045	0.3363
	RQ	4.01622	0.0753	0.0187	0.1472	-3.86902	0.0702
	QL	4.454	0.6222	0.1397	0.3746	-4.0794	0.5288
			-0.0958	0.3518			0.0457
XI	MN	2.1634	0.1724	0.0797	-0.0567	2.1067	0.1642
	NS	2.0889	0.1361	0.0651	-0.0456	2.0433	0.1306
	SR	2.3805	0.0301	0.0126	0.107	-2.2735	0.0276
	RM	3.3643	0.3289	0.0978	-0.0402	-3.4045	0.3363
			-0.0505	0.2553			-0.0691
XII	NO	1.5052	0.0881	0.0585	-0.2326	1.2726	0.0645
	OT	2.0306	0.0202	0.0099	0.1526	2.1832	0.0231
	TS	1.4694	0.0123	0.0084	0.1526	-1.3168	0.0100
	SN	2.0889	0.1361	0.0651	0.0456	-2.0433	0.1306
	SUMA		-0.0401	0.1420			-0.053

**TABLA III.5 CONTINUACIÓN DEL ANÁLISIS HIDRÁULICO
(3^{ra} ITERACIÓN)**

CIRCUITO	TRAMO	Q3 (l/s)	H3 (m)	H/Q	Δ	Q4 (l/s)
I	AB	13.525	0.7506	0.0555	0.1955	13.720
	BG	4.877	0.7360	0.1509	-0.3981	4.479
	GF	4.251	0.6658	0.1566	0.2982	-3.953
	FA	16.475	0.9735	0.0591	0.1955	-16.280
			-0.1527	0.4221		
II	BC	8.648	0.2951	0.0341	0.5936	9.242
	CH	3.240	0.3836	0.1184	0.3389	3.579
	HG	3.434	0.4057	0.1181	0.373	-3.061
	GB	4.877	0.7360	0.1509	0.3981	-4.479
			-0.463	0.4216		
III	CD	5.903	0.1536	0.0260	0.2547	6.158
	DI	2.163	0.1724	0.0797	-0.1604	2.003
	IH	2.217	0.1804	0.0814	-0.0061	-2.223
	HC	2.745	0.2822	0.1028	-0.3389	-3.084
			-0.1366	0.2899		
IV	DE	3.740	0.0694	0.0186	0.4151	4.155
	EJ	3.240	0.0532	0.0164	0.4151	3.655
	JI	1.421	0.0833	0.0586	0.1073	-1.314
	ID	2.163	0.1724	0.0797	0.1604	-2.003
			-0.1331	0.1733		
V	FG	4.251	0.6658	0.1566	-0.2982	3.953
	GL	4.694	0.6095	0.1299	-0.3233	4.370
	LK	4.435	0.6858	0.1546	-0.2928	-4.727
	KF	12.224	0.4979	0.0407	-0.1027	-12.327
			0.0916	0.4819		
VI	GH	3.434	0.4057	0.1181	-0.373	3.061
	HM	2.962	0.3249	0.1097	-0.0402	2.922
	ML	3.049	0.3084	0.1011	0.2916	-2.757
	LG	4.694	0.6095	0.1299	0.3233	-4.370
			-0.1873	0.4588		
VII	HI	2.217	0.1804	0.0814	0.0061	2.22
	IN	1.959	0.1435	0.0732	-0.047	1.91
	NM	2.107	0.1642	0.0779	0.1131	-1.99
	MH	2.962	0.3248	0.1097	0.0402	-2.92
			-0.1651	0.3422		
VIII	IJ	1.421	0.0833	0.0586	-0.1073	1.314
	JO	1.6606	0.0154	0.0093	0.3078	1.968
	ON	1.2726	0.0645	0.0507	0.0921	-1.181
	NI	1.9592	0.1435	0.0732	0.047	-1.912
			-0.1093	0.1919		
IX	KL	4.435	0.6858	0.1546	0.0874	4.52
	LQ	4.079	0.5288	0.1296	0.2611	4.34
	QP	5.790	1.1799	0.2038	0.1901	-5.60
	PK	7.790	0.2161	0.0277	0.1901	-7.60
			-0.1814	0.5158		
X	LM	3.049	0.3084	0.1011	-0.2916	2.757
	MR	3.405	0.3363	0.0988	-0.2187	3.186
	RQ	3.869	0.0702	0.0182	-0.071	-3.940
	QL	4.079	0.5288	0.1296	-0.2611	-4.341
			0.0457	0.3477		
XI	MN	2.107	0.1642	0.0779	-0.1131	1.994
	NS	2.043	0.1306	0.0639	-0.068	1.975
	SR	2.274	0.0276	0.0121	0.1477	-2.126
	RM	3.405	0.3363	0.0988	0.2187	-3.186
			-0.0691	0.2528		
XII	NO	1.273	0.0645	0.0507	-0.0921	1.181
	OT	2.183	0.0231	0.0106	0.2157	2.399
	TS	1.317	0.0100	0.0076	0.2157	-1.101
	SN	2.043	0.1306	0.0639	0.068	-1.975
		SUMA	-0.053	0.1328		

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Los signos de sustracción que aparecen en las tablas se refiere al sentido en el gasto recorre cada uno de los circuitos y que sirve como guía para realizar los cálculos correspondientes en la hoja de calculo de computadora.

Después de tener el análisis correspondiente a la red de distribución de agua potable, se estima que las fugas es alrededor del 40%, donde éste mismo porcentaje se divide en los tipos de fugas que existen en la región en estudio y esto es que hay fugas domiciliarias, refiriéndose a que son de carácter interno en cada casa, fugas en los lavamanos, en los excusados, en los empaques de las llaves, y en instalaciones hidráulicas antiguas, entre otras.

Por otro lado la tubería secundaria tiene otro tipo de fugas que llegan a ser fugas del tipo no visibles, y esto es debido a pequeñas fugas en las intersecciones de los tramos (nodos), que por el paso del tiempo ha degradado el estado de la tubería, porque el tipo de suelo que está en la región es plano, su geología no ha afectado a las líneas de distribución de agua, para evitar todos estos tipos de fuga se realizará un estudio, para ver que tan dañada este la red de distribución y hacer los trabajos de construcción y rehabilitación de la red, así como proponer que la red de distribución de agua potable sea sectorizada.

Actualmente cuenta con 12 pequeños circuitos que son los distribuidores de agua, quizás proponiendo que se formen tres circuitos conformados de los 12 a su vez, se tenga el control necesario y la facilidad de detectar las fugas lo más pronto posible, teniendo en cuenta que al ser rehabilitada la red, tendrá nuevos equipos de medición de gasto de agua y de presión, tubería renovada y de mejor calidad, así como los accesorios de la tubería sean sustituidos por nuevos.

Una de las cosas más importantes es crear una nueva cultura del agua hacia la gente y las nuevas generaciones, esto es, ponerles al tanto de las obras de construcción y rehabilitación de la red, y que la gente se concientice acerca del trabajo que se requiere para el cuidado del agua, entregar boletines donde se le

instruya a la población en mantener llaves cerradas cuando no las utiliza, el uso debido del agua para limpieza y aseo, reportar fugas en registros e instruir a las nuevas generaciones del cuidado del agua.

Esto con el fin de suponer un problema parecido a la realidad de la Redes de Distribución de Agua en la República Mexicana, y proponer una sectorización en la Red de Distribución, para evitar fugas de agua.

Las supuestas fugas de agua se ubicaron de la siguiente manera en la Red:

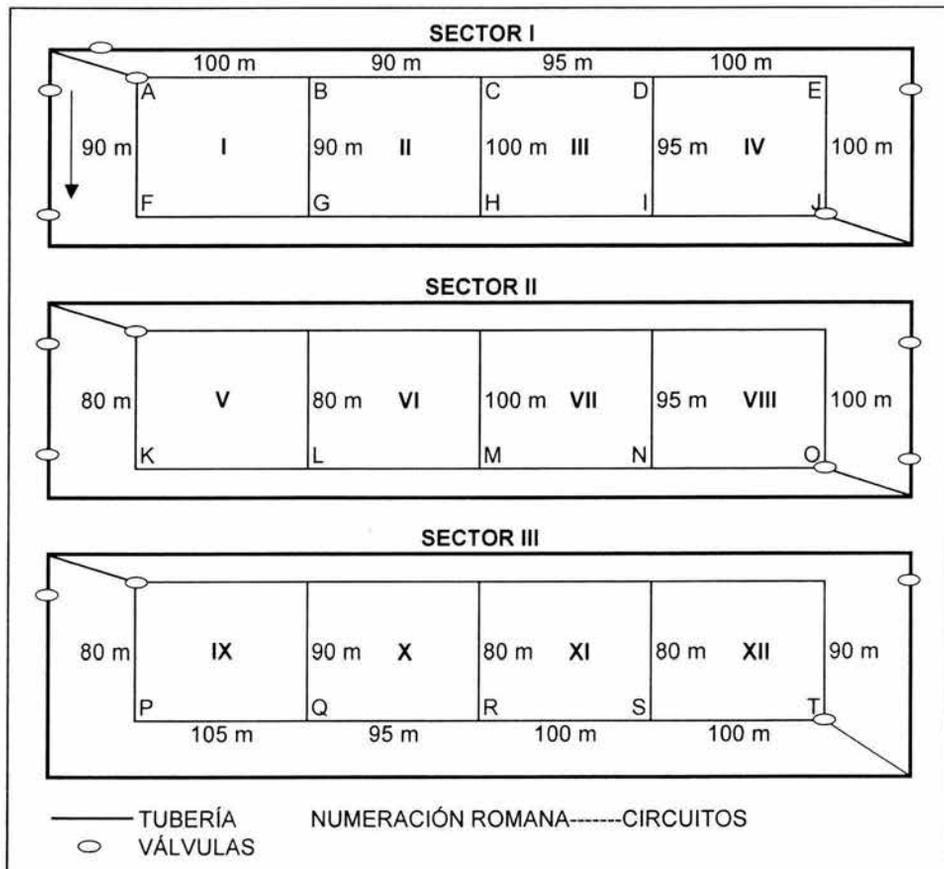
TABLA III.6 LOCALIZACIÓN DE FUGAS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN

NÚMERO DE FUGA	LOCALIZACIÓN DE LA FUGA	GASTO (l/s)
1	TRAMO BG	0.8
2	TRAMO IN	1.5
3	TRAMO PQ	0.9
4	TRAMO EJ	1.0
5	TRAMO LM	1.5
6	NODO R	2.0
7	NODO L	2.0
8	NODO A	1.0
9	NODO E	1.4
SUMA		12.0 l/s

Como se observa la suma total de gasto de agua por fugas, es de 12 l/s que es el 40% supuesto en la Red de Distribución de agua.

Ya teniendo los tramos y nodos de la tubería afectados por las fugas de agua, se propone dividir en tres nuevos sectores a la Red de Distribución de la siguiente manera:

FIGURA III.8 SECTORIZACIÓN DE LA RED EN BLOQUES



Ésta forma de Sectorizar la Red de Distribución, se le llama Red Secundaria en Bloques, que es cuando las tuberías secundarias forman bloques que se conectan con la red primaria en dos puntos. El concepto de Red en Bloques es equivalente al de Distritos Hidrométricos, suponiendo así el diseño de la Red de Distribución, y teniendo una supuesta Sectorización para evitar pérdidas de agua debido a las fugas en la Red.

La propuesta de la Sectorización fue suponer que el circuito principal se dividió en 3 sectores como se describe a continuación:

Sector I que abarca los circuitos que están señalados como I, II, III y IV, este sector cuenta con 6 válvulas de seccionamiento, una válvula esta ubicada para el nodo A y otra para el nodo J que sirven de enlace, las otras 4 válvulas están colocadas en los extremos del Sector I.

Sector II lo componen los circuitos V, VI, VII y VIII, con 6 válvulas, una válvula colocada en el nodo F y otra en el nodo O, las otras 4 están al igual que en el Sector I.

Sector III está compuesto por los circuitos que restan el IX, X, XI y XII con sólo 4 válvula ya que cierra todo el bloque, una válvula se encuentra colocada en el nodo K y la otra en el nodo T, las otras 2 válvulas en cada uno de los extremos para facilitar los cierre dentro del Sector III, así se compondrían estos supuestos 3 nuevos Sectores.

Con esta propuesta de Sectorización en la Red de Distribución de Agua Potable, se tiene una alternativa para la reducción de pérdidas de agua, que este es el Tema principal, las fugas de agua en los sistemas de distribución de agua potable. A continuación se tienen los pasos a seguir en una sectorización para una red de distribución de agua potable, que explica todo el proceso de trabajo para sectorizar, así como otras diferentes causas que llevan a utilizar este método para reducir pérdidas de agua por fugas.

III.3.3 SECTORIZACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

Se entiende por sectorización de una red de distribución de agua, a la acción de formar zonas de suministro independientes a los otros sectores. Se presentan diferentes consideraciones que conviene atender cuando se pretende efectuar la sectorización de una red de distribución de agua potable existente que durante años ha sido operada en forma libre y solo en base a al experiencia.

La razón de esta propuesta, consiste en la hipótesis de que la mayor parte de los problemas operacionales de una red y por supuesto los relacionados con el control de pérdidas se encuentran en el criterio de diseño y forma de operación de la red

de distribución. La operación de una red de distribución de agua es una actividad sumamente compleja debido a la gran cantidad de componente mencionados.

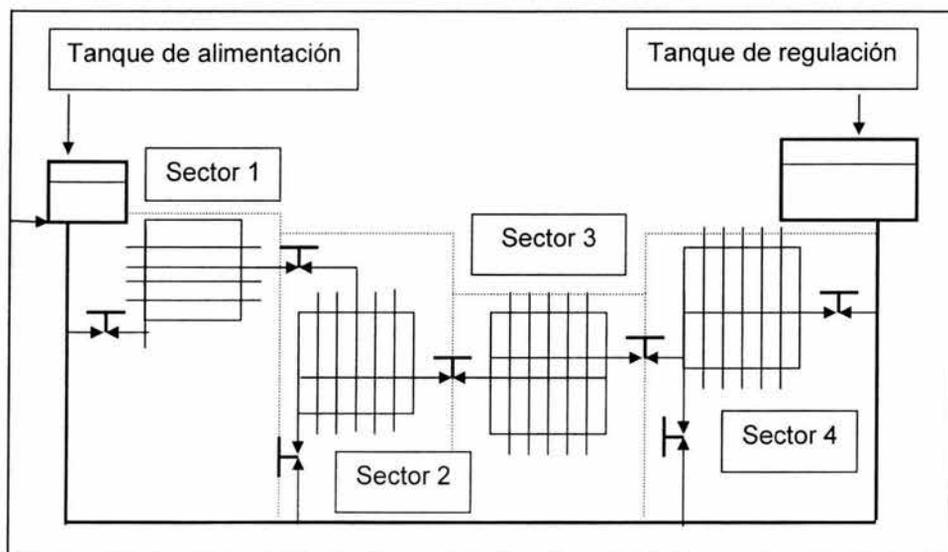
Durante la fase de diseño se actúa sobre parámetros tales como:

- Elección del tipo de red.
- Topología del sistema de distribución.
- Ubicación y características de los elementos de control y maniobra.
- Diámetro de conducciones.

III.3.3.1 CONCEPTO DE SECTORIZACIÓN

Esta técnica consiste en la división de una red en varias subredes más pequeñas. Cada subred, denominada "sector", constituirá una unidad de distribución, suficientemente limitada y homogénea para que la gestión de los datos, a captar y analizar, sea lo más rápida y confiable posible. La delimitación de cada sector precisa de un trabajo preliminar. Todos los elementos que garantizan dicha división física deberán ser revisados y eventualmente, en particular las válvula de corte.

FIGURA III.9 RED SECTORIZADA



T : Válvula

Esta técnica se eligió por la facilidad de compactar la sectorización de la red de distribución de agua potable.

La realización de la red de distribución de agua potable, debe buscar fundamentalmente:

- Introducir las líneas primarias de la red de distribución, por las vías principales, lo más rectas posibles, buscando las zonas de mayor demanda de agua o de posibilidades de crecimiento de población.
- Preferentemente buscar líneas envolventes, lo cual quiere decir haciendo pequeños circuitos de líneas de distribución, de la cual partan las líneas secundarias a las distintas zonas de consumo, así se consigue un suministro alternativo.
- Trazo de redes en mallas y en bloques. En el caso de quedar ramales aislados que tengan una longitud inferior a 300 m y/o abastezca a más de 200 viviendas.
- Poder dividir y subdividir el sistema en partes mas controlables y que puedan en cualquier momento ser inspeccionadas o seccionadas para el abastecimiento de agua.
- Evitar puntos ciegos, donde se formen depósitos y se presente mayor probabilidad de corrosión en los tubos por tornarse el agua más agresiva.

Desde el punto de vista operacional y de control de pérdidas de agua, el trazo de la red de distribución en secciones ofrece mayores ventajas:

- Un natural establecimiento de distritos de Investigación.
- Menor número de válvulas (registros) a instalar, operar y mantener.

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

- Facilidades para hacer diagnósticos de la red de distribución y levantar parámetros para proyectos.
- Rapidez y facilidad para la ejecución de las investigaciones de fugas no visibles.
- Menores tiempos en las reparaciones de fugas por la rapidez con que se ejecutan los cierres para seccionar la red.
- Posibilidad de sustituir, reforzar o recuperar redes primarias sin perjudicar el abastecimiento de agua.

El sistema de distribución de agua debe ser concebido de tal manera que se pueda cubrir toda la ciudad por sectores de abastecimiento de agua. Una vez que el contorno del sector este debidamente delimitado, de ser posible con una única entrada, se puede proceder al análisis del funcionamiento del sector a fin de detectar fugas, conforme a los siguientes pasos:

- Vigilancia continua a intervalos regulares de volúmenes inyectados y consumidos, preferiblemente durante la noche, en donde los consumos son menores.
- Localización de la fuga en un área pequeña del sector afectado.
- Localización exacta de la ubicación de la fuga utilizando procedimientos convencionales.

De esta manera la sectorización de la red de distribución de agua potable, es una opción estratégica que reduce el área de inspección para la detección, localización y control de anomalías, como roturas, fugas, deficiencias de presión, y además, mediante la implantación de un sistema de control que mejore sustancialmente la gestión de explotación de la red de distribución, optimizando volúmenes de suministro y presiones en cada sector, reduciendo enormemente los costos de consumo de energía.

III.3.3.2 FASES PARA LA SECTORIZACIÓN

La realización de la sectorización de la red de distribución se programa en las siguientes fases:

- Anteproyecto del sistema.
- Diseño e implantación en un sector de la red de distribución.
- Ampliación a dos sectores dentro de la red de distribución.
- Revisión de un estudio técnico-económico a la red de distribución.
- Extensión del estudio a toda la red de distribución.
- Integración con un sistema de control operacional a la red de distribución.

Además debe efectuarse un estudio de factibilidad económica a corto y mediano plazo, que permita decidir el esquema de sectorización más rentable. En este sentido deberán estimarse los costos de:

- Elementos de control e interconexión necesarios, válvula, cortes, etc.
- Obra civil derivada de las cajas de válvulas, cortes, líneas nuevas, rehabilitadas, etc.
- Adecuación de la red, mantenimiento, limpieza, etcétera.

Y por otra parte los beneficios esperados con base en:

- Análisis de reducción de pérdidas volumétricas y energéticas.
- Ahorro producido por la nueva regulación de presiones.
- Ahorro producido por la reducción en la probabilidad de ocurrencia de roturas y fugas y en la disminución del tiempo de detección, localización y reparación de las que puedan producirse.

En el caso de redes nuevas los costos son menores, en el caso de ampliaciones o refuerzos de líneas existentes y se modifica el trazo de convencional a bloques, las intervenciones son mayores, si se realiza en una sola etapa.

III.3.3.3 CONTROL DE PÉRDIDAS Y LA SECTORIZACIÓN

En toda la red de distribución y también en sus zonas y sectores hay que tener en cuenta la existencia de:

- Consumos no contabilizados.
- Errores en los medidores domiciliarios.
- Defectos propios de la red, consistentes en:
 - 1) Grietas, fugas en juntas, válvulas, etc, difíciles de detectar y cuya localización y reparación no es rentable.
 - 2) Fugas recuperables, cuya detección y localización son objeto de búsqueda y reparación, tanto en líneas como en tomas domiciliarias.

Existen dos posibles líneas de actuación para reducir las pérdidas:

- Reparación de la infraestructura, tuberías antiguas y medidores.
- Reducir el tiempo de respuesta de la reparación de fugas.

También se tiene una subdivisión de los sectores de suministro en la red de distribución de agua potable, lo cual es una herramienta para tener un control sobre posibles fugas en la red. Cuando se hace el proyecto de la red de distribución de agua potable, se debe considerar que los sectores de abastecimiento se subdividan en áreas lo más homogéneas posibles (residencial, comercial, etc.), cada área con alrededor de 5 a 10 km de la red de distribución, que preferentemente puedan ser alimentadas por una única entrada en forma permanente o con el cierre de pocas válvulas sin mayores problemas al suministro.

De esta forma se crean Distritos Hidrométricos como se indicó antes, donde el único sitio para su control se hace mediante investigaciones en la red de distribución de agua potable, para obtener parámetros operacionales, indicadores de presencia de fugas, condiciones del abastecimiento, comportamiento de los consumos y sus variaciones por área homogénea de ocupación.

Las diferentes fases de la sectorización que se han mencionado, se aplican como una solución para la red de distribución de agua potable, para facilitar la reducción de pérdidas de agua, en este caso fugas visibles y no visibles, se tiene un control amplio, al tener división de los sectores, tener una buena ubicación de las fugas cuando estas se presenten y que se cierren válvulas con facilidad para no interrumpir los demás sectores que estén trabajando.

Además que servirá este proceso de sectorización para los trabajos de construcción de la red de distribución de agua potable, por lo mencionado en este capítulo se tiene una mejor ubicación de las fallas dentro de la red de distribución y el proceso constructivo se auxilia en todos los detalles de cada uno de los sectores de la red de distribución de agua potable.

A continuación se menciona un resumen de este capítulo y que se basa en el programa de actividades para la sectorización de la Red de distribución de agua potable, desarrollado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA):

- Modelación de la red. Se desarrolla un modelo de la red de distribución de agua potable.
- Calibración de la red. Se hizo una validación del modelo de la red, que es donde se comparan datos que tiene el modelo de gasto de agua y presión y que se comparan con los de campo.
- Análisis hidráulico del sector. Se hace un análisis para determinar si no tienen zonas con problemas de operación (como zonas de baja o alta presión) que pudieran ocasionar problemas de fugas en la red de agua potable.

Se crea un programa de control:

- La conformación de los subproyectos básicos.
- **Árboles de problemas.** Se plantean los efectos y las causas que ocasionan los problemas de las pérdidas de agua en el sistema.

- **Determinación de acciones a mediano plazo.** Con base en el diagnóstico y específicamente el árbol de problemas, se definen las acciones a mediano plazo.
- **Definiciones de objetivos y metas del proyecto.** Después de definir las acciones a mediano plazo, se inicia el planteamiento de los objetivos y metas del programa.
- **Conformación de subproyectos básicos.** Son todas aquellas actividades que se desarrollan para mejorar los diferentes departamentos que apoyaron la implantación del proyecto de control de pérdidas.
- **Calendarización, costos y financiamiento.** Se define con todo el personal del proyecto y conforme a las metas y objetivos del proyecto de control de pérdidas, los costos y el financiamiento de: cantidades de bienes, equipos y personal requerido para ejecutar cada subproyecto básico. Y que más adelante en el capítulo V “ Proceso Constructivo para la Rehabilitación del Sector en Estudio”.

Teniendo en cuenta todas las recomendaciones y descripciones para sectorizar la red de agua potable, y así reducir las pérdidas de agua por fugas, finaliza este Capítulo III denominado “Sectorización de la Red de Distribución”, concluyendo que la sectorización es una alternativa para reducir pérdidas de agua, en una red de distribución, una alternativa materialista ya que la verdadera solución es hacer conciencia en la gente de toda la República Mexicana en todos los niveles, en cuidar el agua, ya que en un futuro no muy lejano, se tendrá más escasez de agua de lo que hoy en día se tiene.

El problema de las fugas siempre existirá, por razones de rompimiento de tuberías de desgaste en empaques, de equipo obsoleto, pero será menor al tener cuidado en las instalaciones domiciliarias que es donde se tiene el mayor índice de fugas, y que por lo regular no son del índole de desgaste, mas es por el descuido de los usuarios hacia sus instalaciones domiciliarias y al uso correcto de la cantidad de agua con la que se cuenta.

Para el siguiente que es el Capítulo IV denominado "Impacto Ambiental de Proyectos de Sistemas de Abastecimiento" se mencionan los lineamientos y Normas aplicables en materia ambiental, que con motivo de las fugas en los sistemas de agua potable, repercute en el desequilibrio ecológico del medio ambiente.

CAPÍTULO IV

IMPACTO AMBIENTAL DE PROYECTOS DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO

CAPÍTULO IV

IMPACTO AMBIENTAL

DE PROYECTOS DE

SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO

En el presente capítulo se presenta el manifiesto de Impacto Ambiental sobre el proyecto "Detección y Recuperación de Fugas en Redes de Distribución de Agua Potable".

En la República Mexicana la mayor disponibilidad de agua se encuentra abajo de los 500 metros a partir del nivel promedio de las aguas del mar, al sur de los paralelos 28° y 24°, mientras que las mayores demandas se generan arriba de esta altura y al norte de los paralelos mencionados.

Haciendo una comparativa de las zonas que tienen disponibilidad del recurso contra las de asentamientos humanos se tiene una situación contrastante ya que aproximadamente el 85% del agua del país se encuentra en zonas bajas (abajo de los 500 metros a partir del nivel promedio de las aguas del mar), y más del 70% de la población y 80% de la industria se encuentran en zonas altas (arriba de los 500 metros a partir del nivel promedio de las aguas del mar).

Tanto en la actualidad como en el futuro, y con el fin de conciliar la demanda y oferta de agua es y será indispensable realizar estudios de impacto ambiental, ya que son una herramienta importante dentro de la planeación de proyectos para el desarrollo social, con la que es posible definir la disponibilidad y manejo del recurso.

Así mismo estos estudios se practican como consecuencia de un deterioro acelerado en la calidad de vida de los mexicanos como consecuencia de la explotación acelerada e intensa de los diferentes recursos naturales a lo largo, sobre todo, de las pasadas cinco décadas.

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Los planes de desarrollo económico en la República Mexicana no manejaban la variable ambiental, por lo que se fomentó el crecimiento de actividades productivas y formas de manejo de recursos que generan contaminación y deterioro de los ecosistemas.

Proteger el medio ambiente es una labor que debe ser planeada y realizada en todas las empresas en las que se involucre nuestra sociedad. Es necesario aplicar criterios de conservación de recursos naturales y de mejoramiento de calidad de vida de la población. Por ésto se aplican medidas administrativas de carácter preventivo para poder proteger el Medio Ambiente a escala mundial y son conocidas como Evaluaciones de Impacto Ambiental.

La dotación de agua potable está enmarcada entre las actividades prioritarias a efectuar dentro del plan nacional de desarrollo. En este documento se consigna como una de las estrategias y líneas de acción, la ampliación de la cobertura y mejoramiento de la calidad de los servicios básicos, así como el uso eficiente de los recursos para el crecimiento económico, contemplando el desarrollo y mejoramiento de la infraestructura, teniendo como objetivo, además, alcanzar niveles de cobertura en los servicios de agua potable que contribuyan al cuidado de la salud y la calidad de vida de la población, además de frenar el proceso de deterioro del medio ambiente por contaminación de origen domestico.

En este trabajo, se pretende alcanzar los siguientes objetivos:

- Identificar los conceptos básicos relativos a la temática ambiental.
- Identificar la institucionalidad orgánica y legal en materia ambiental en México, en especial, del Estudio de Impacto Ambiental.
- Definir los contenidos de un estudio y una declaración de Impacto Ambiental.
- Identificar los diferentes tipos de Impactos y las metodologías que existen para evaluarlos.
- Analizar un estudio de caso, definiendo el rol de los funcionarios públicos y privados en la evaluación de un estudio de impacto ambiental.
- Definir criterios para evaluar un estudio de Impacto Ambiental.

IV.1 DEFINICION DE IMPACTO AMBIENTAL

El hombre, en su afán desmedido por mejorar sus condiciones de vida, ejecuta obras, sin tomar en consideración que él es parte integrante del medio que le rodea, generando con esto efectos ambientales reversibles e irreversibles, siendo esta la manera en que el medio ambiente se ha ido deteriorando paulatinamente.

La presentación del estudio cumple con los objetivos prioritarios en materia ambiental, que es prevenir y controlar el deterioro ambiental que pudiera generarse con el establecimiento de obras, actividades y servicios de su jurisdicción.

Para puntualizar los conceptos fundamentales del estudio de Impacto Ambiental, se inicia con las siguientes definiciones:

Impacto Ambiental. Cualquier modificación o alteración de las propiedades físicas y biológicas del medio ambiente, causada por cualquier forma de materia o energía resultante de actividades humanas o de la misma naturaleza, que directa o indirectamente afecten al aire, agua superficial o subterránea, suelo, flora, fauna, paisaje y/o sociedad (salud y bienestar).

Se dice que hay Impacto Ambiental cuando una acción o actividad produce una alteración, favorable o desfavorable, en el medio o en alguno de los componentes del medio. Esta acción puede ser un proyecto de ingeniería, un programa, un plan, una ley o una disposición administrativa con implicaciones ambientales.

Hay que hacer constar que el término Impacto ambiental no implica negatividad, ya que los efectos de estos pueden ser tanto positivos como negativos.

El Impacto ambiental de un proyecto sobre el medio ambiente es la diferencia entre la situación del medio ambiente futuro modificado, tal y como se manifestaría como consecuencia de la realización del proyecto, y la situación del medio ambiente futuro tal como habría evolucionado normalmente sin tal actuación, es decir, la alteración neta (positiva o negativa en la calidad de vida del ser humano), resultante de una actuación.

IV.2 MARCO JURÍDICO EN MATERIA AMBIENTAL

Ahora, en este apartado, se identificará el marco legal que regula la protección al ambiente en la República Mexicana; las competencias federales, estatales y municipales.

Se incluirá, además, en este caso, tanto la Ley de Protección al Ambiente para el Desarrollo sustentable del Estado de México, así como el Reglamento de la Ley de Protección al Ambiente del Estado de México en materia de Impacto y Riesgo Ambiental, por considerar a éstos que se cree son representativos para todos los estados de la República Mexicana en materia ambiental.

La legislación en materia de protección al ambiente es relativamente nueva, de hecho su desarrollo ha estado asociado con algunos hechos significativos que han marcado la sociedad por su impacto en el medio ambiente. En ocasiones la inclusión de nuevos artículos en la Ley correspondiente y la aparición de nuevas Normas Oficiales Mexicanas (NOM) obedecen a situaciones de tipo social, político y en ocasiones a los avances tecnológicos.

En la República Mexicana, la protección ambiental desde el punto de vista legal obedece a:

- 1) Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.
- 2) Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.
- 3) Reglamentos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.
- 4) Normas Oficiales Mexicanas en materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.

Además, existen 31 leyes estatales y la Ley del Distrito Federal, así como La Ley de Aguas Nacionales. Sin embargo, en este trabajo solo se describirá en forma general los apartados y artículos sobre los instrumentos jurídicos que ya se han mencionado.

IV.2.1 CONSTITUCIÓN POLITICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

La protección al ambiente se encuentra contemplada en los artículos 25, 27 y 73 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

El artículo 25 párrafo sexto dice: "Bajo criterios de equidad social y productividad se apoyará e impulsará a las empresas de los sectores social y privado de la economía, sujetándolos a las modalidades que dicte el interés público y al uso, en beneficio general, de los recursos productivos, cuidando su conservación y el medio ambiente".

El artículo 27 párrafo tercero dice: "La Nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicta el interés público, así como de regular, en beneficio social al aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana.

En consecuencia, se dictarán las medidas necesarias para ordenar los asentamientos humanos y establecer adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos de tierras, aguas y bosques, a efecto de ejecutar obras públicas y de planear y regular la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población; para preservar y restaurar el equilibrio ecológico; para el fraccionamiento de los latifundios; para disponer, en los términos de la ley reglamentaria, la organización y explotación colectiva de los ejidos y comunidades; para el desarrollo de la pequeña propiedad rural; para el fomento de la agricultura, de la ganadería, de la silvicultura y de las demás actividades económicas en el medio rural, y para evitar la destrucción de los elementos naturales y los daños que la propiedad pueda sufrir en perjuicio de la sociedad".

El artículo 73, fracción XXIX-G, dice: "El Congreso tiene facultad para expedir leyes que establezcan la concurrencia del gobierno federal, de los gobiernos de los estados y de los municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, en materia de protección al ambiente y de preservación y restauración del equilibrio ecológico".

IV.2.2 REGLAMENTOS DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE

Estos reglamentos están comprendidos por:

- Reglamento de la Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera.
- Reglamento para la Protección del Ambiente contra la Contaminación originada por la Emisión de Ruido.
- Reglamento en materia de Residuos Peligrosos.
- Reglamento en materia de Impacto Ambiental.

IV.2.3 NORMAS OFICIALES MEXICANAS PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

Éstas Normas están distribuidas en:

- Normas para Control de la Contaminación Atmosférica.
- Monitoreo Ambiental.
- Normas para Control de Residuos Peligrosos.
- Normas para Control de la Contaminación del Agua.
- Normas de Ordenamiento Ecológico e Impacto Ambiental.
- Normas para el Control de Emisión de Ruido.

IV.2.4 ATRIBUCIONES FEDERALES Y LOCALES

Éstas se encuentran en el Capítulo II de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en el artículo 4 al artículo 14 bis:

Capítulo II. Distribución de competencias y coordinación.

Artículo 4. "La Federación, los Estados, el Distrito Federal y los Municipios ejercerán sus atribuciones en materia de preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, de conformidad con la distribución de competencias previstas en esta Ley y en otros ordenamientos legales".

Artículo 5. "Son facultades de la Federación:

La evaluación del impacto ambiental de las obras o actividades a que se refiere el artículo 28 de esta Ley y, en su caso, la expedición de las autoridades correspondientes;

La regulación de la prevención de la contaminación ambiental originada por ruido, vibraciones, energía térmica, lumínica, radiaciones electromagnéticas y olores perjudiciales para el equilibrio ecológico y el ambiente;

La promoción de la participación de la sociedad en materia ambiental, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley;

Las obras para distribución de agua potable, drenaje, irrigación, generación de electricidad, etc., tienen como fin, utilizar y manejar el agua para el sostenimiento de las actividades humanas, aunque también generan impactos negativos al medio ambiente como deforestación, cambio en los regímenes de corrientes, disposición inadecuada de desechos, desaparición de ecosistemas y cambios en las estructuras sociales de las entidades, por mencionar algunos".

Además, y como parte de un complemento de leyes aplicables al Estado de México (zona conurbada de la Ciudad de México), el Gobierno de la República Mexicana, a través de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, ha establecido un nuevo marco regulatorio ambiental que reconoce, favorece y alienta los proyectos productivos sustentables con una nueva relación entre las organizaciones civiles y el Gobierno; lo anterior, con fundamento en el pleno respeto a la pluralidad y autonomía, y reconociendo la capacidad de respuesta de la sociedad que complementa y multiplica la acción pública.

Esta valiosa opinión fue puntualmente plasmada en el Reglamento de la Ley de Protección al Ambiente del Estado de México en materia de Impacto Ambiental y Riesgo Ambiental expedido a los 31 días del mes de julio de 1992, así como la Ley de Protección Ambiental para el Desarrollo Sustentable del Estado de México, que fue aprobada por unanimidad el 15 de octubre de 1997.

IV.2.5 LEY DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE DEL ESTADO DE MÉXICO

Esta Ley establece políticas de planeación ambiental; considera a los ecosistemas como patrimonio común de la sociedad, incorpora contenidos ecológicos y ambientales en los diversos niveles y modalidades de la educación; regula tanto el ordenamiento ecológico del territorio estatal como el municipal. Dicha Ley se considerará para este trabajo de investigación, ya que el Estado de México ha sido históricamente el lugar en el cual y debido a su desarrollo urbano, político, económico y social se han aplicado leyes de toda índole (incluyendo las ambientales) las cuales han sido representativas para toda la República Mexicana.

A continuación se realiza una síntesis de los artículos relevantes al tema de urbanización en la Ley de Protección al Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Estado de México.

En su título Primero "Disposiciones Generales", capítulo I titulado: "Objeto de la Ley", se encuentra el siguiente Artículo que a la letra dice:

ARTICULO 1. "La presente Ley es de orden público, interés social y de observancia general en todo el territorio del Estado de México, y tiene por objeto:

- I. Regular el ejercicio de las atribuciones que en materia ambiental corresponden a las autoridades estatales y municipales del estado de México, en el ámbito de sus respectivas competencias, bajo los principios previstos en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos; la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de México; y la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente;

- II. Garantizar el derecho de toda persona, dentro del territorio del Estado de México, a vivir en un ambiente sano y equilibrado, adecuado para su desarrollo, salud y bienestar;
- III. Asegurar el derecho y la obligación corresponsable para la participación de las personas dentro del territorio del Estado de México, en forma individual o colectiva, en la preservación y restauración del equilibrio ecológico, el desarrollo sustentable y la protección al ambiente;
- IV. Establecer los criterios ambientales para el manejo de recursos naturales, la prevención y control de la contaminación del agua, aire y suelo, ordenando ecológicamente el territorio de la entidad”.

En su título Segundo “Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental”, Capítulo II titulado: “Política y Planeación Ambiental”, se encuentran los siguientes Artículos, que a la letra dice:

Sección Primera. Política Ambiental.

ARTICULO 10. “La formulación y conducción de la política ambiental en los términos previstos por esta Ley, en materia de preservación y restauración del equilibrio ecológico y protección al ambiente del Estado de México, se hará de acuerdo a los siguientes principios:

- I. Los ecosistemas son patrimonio común de la sociedad y de su equilibrio depende la vida y las posibilidades de desarrollo sustentable del Estado de México;
- II. Los ecosistemas y sus elementos deben ser aprovechados de forma eficiente y sustentable, compatible con su equilibrio e integridad;
- III. Las autoridades, así como los particulares, deben asumir la responsabilidad de la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección del medio ambiente;
- IV. Quien realice obras o actividades que afecten o puedan afectar el medio ambiente, está obligado a prevenir, minimizar o reparar los daños que haya causado, así como a asumir los costos y reparar los daños que dicha

afectación implique; asimismo, se debe apoyar e incentivar a quien proteja el medio ambiente y aproveche de manera confiable y sustentable los ecosistemas y sus elementos naturales;

- V. La responsabilidad respecto al equilibrio ecológico dentro del territorio del Estado de México, comprende tanto las condiciones para la preservación de los elementos existentes, así como aquellas para asegurar una adecuada y mejor calidad de vida para las generaciones futuras;
- VI. La prevención de las causas que generan desequilibrios ecológicos, será posible mediante acciones que permitan su identificación”.

En su título Segundo “Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental”, Capítulo III titulado: “Evaluación del Impacto Ambiental”, se encuentran los siguientes Artículos, que a la letra dice:

ARTICULO 25. “Las personas físicas o morales que pretendan la realización de actividades industriales, públicas o privadas, la ampliación de las obras y plantas industriales existentes en el territorio del Estado de México o la realización de aquellas actividades que puedan tener como consecuencia la alteración de los ecosistemas, el desequilibrio ecológico, o en su caso, puedan exceder los límites y lineamientos que al efecto fije el reglamento de la presente ley o las Normas Oficiales Mexicanas expedidas por la Federación, deberán someter su proyecto a la aprobación de la propia autoridad ambiental, local o municipal, que resulte competente, siempre y cuando no se trate de obras o actividades que estén sujetas a forma exclusiva a la regulación Federal.

La Evaluación del Impacto Ambiental será obligatoria, particularmente tratándose de las siguientes actividades:

- I. Obra pública que no corresponda a la competencia de la Federación;
- II. Obras hidráulicas estatales y municipales;
- III. No procede.
- IV. No procede.
- V. No procede.

- VI. Las demás que, aún cuando sean distintas a las anteriores, puedan causar impactos ambientales significativos de carácter adverso y que, por razón de la obra, actividad o aprovechamiento de que se trate, no estén sometidas para su realización a la regulación de leyes federales”.

ARTICULO 27. “Para la Evaluación del Impacto Ambiental los interesados deberán presentar a la autoridad competente una Manifestación del Impacto Ambiental que previsiblemente pueda tener el proyecto específico de que se trate en la modalidad y términos que establezca el reglamento correspondiente”.

ARTICULO 32. “La resolución que ponga fin a un procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental podrá autorizar, condicionar o negar la autorización para la realización del proyecto sometido a evaluación”.

ARTICULO 34. “Las personas que presten sus servicios profesionales de estudios de impacto y riesgo ambientales, serán responsables de los informes preventivos, las manifestaciones de impacto ambiental y estudios de riesgo que elaboren; para ello, manifestarán, bajo protesta de decir verdad, que en dichos informes, manifestaciones y estudios se incorporan las mejores técnicas y metodologías existentes, así como la información y medidas de prevención y mitigación más efectivas”.

En su título Cuarto “Aprovechamiento Sustentable de los Elementos Naturales”, Capítulo II titulado: “Aprovechamiento Sustentable del Suelo y sus Recursos”, se encuentran los siguientes Artículos, que a la letra dice:

ARTICULO 82. “Estarán obligados a restaurar el suelo, subsuelo, mantos acuíferos y demás recursos naturales afectados quienes, por cualquiera que sea la causa, los contaminen o deterioren; dicha restauración deberá llevarse a cabo de acuerdo con esta Ley, sus Reglamentos, Normas Oficiales Mexicanas y demás disposiciones aplicables”.

En su título Quinto “Protección al Ambiente”, Capítulo VII titulado: “Prevención y control de la contaminación por ruido, vibraciones, energía térmica y lumínica,

olores, vapores, gases y contaminación visual", se encuentran los siguientes Artículos, que a la letra dice:

ARTICULO 113. "Quedan prohibidas las emisiones de ruido, vibraciones, energía térmica y lumínica, olores, vapores, gases y la generación de contaminación visual, en cuanto rebasen los límites máximos establecidos en las Normas Oficiales Mexicana y en los criterios y normas estatales que para ese efecto se expidan, considerando los valores de concentración máxima permisibles para el ser humano, de contaminación en el ambiente que se determinen.

La Secretaría y las autoridades de los Municipios del Estado de México, en términos de lo dispuesto por esta Ley y los bandos municipales, adoptarán las medidas para impedir que se transgredan dichos límites y aplicarán las sanciones correspondientes.

En la construcción de obras o instalaciones que generen energía térmica o lumínica, operación o funcionamiento, ruido o vibraciones, así como en la de las existentes, deberán llevarse a cabo acciones preventivas y correctivas para evitar los efectos nocivos de tales contaminantes en el equilibrio ecológico y el ambiente".

En el artículo Tercero de los transitorios a la letra dice: "El Ejecutivo Estatal expedirá los reglamentos correspondientes en términos de la presente Ley. En tanto se expidan las disposiciones reglamentarias de esta Ley, seguirán en vigor las que han regido hasta ahora, en lo que no la contravengan".

IV.2.6 REGLAMENTO DE LA LEY DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE DEL ESTADO DE MÉXICO EN MATERIA DE IMPACTO Y RIESGO AMBIENTAL

El presente ordenamiento fue expedido el 31 de julio de 1992, tiene como objetivo establecer las políticas de planeación y conservación ambiental, como es el controlar la contaminación atmosférica y controlar el Impacto Ambiental que genera el desarrollo de nuevos proyectos en el Estado de México.

Este Reglamento es de observancia general en el territorio del Estado de México para prever la esfera administrativa el cumplimiento a la Ley de Protección al Ambiente en materia de Impacto y Riesgo Ambiental.

Los artículos referentes a lo anterior en este Reglamento son:

El artículo 5, que menciona: "Deberán contar con autorización previa de la Secretaría, en materia de Impacto Ambiental y Riesgo Ambiental, las personas físicas o morales que pretendan realizar obras o actividades, sean públicas o privadas, que puedan causar deterioro ambiental, desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones señaladas en la Ley, sus Reglamentos y en las normas técnicas y criterios que emita la Federación o la propia Secretaría".

El artículo 6 que manifiesta: "Todos los fraccionamientos (de todas clasificaciones), unidades habitacionales y nuevos centros de población, para efectos del artículo 5, son obras y actividades que para su autorización deberán sujetarse al procedimiento de evaluación del impacto ambiental y en su caso, al de riesgo ambiental".

IV.2.6.1 NIVELES Y CONTENIDO DE LAS MANIFESTACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL

Para obtener la autorización, el proponente debe seguir el Procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental indicado en el capítulo 11 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Impacto Ambiental, el cual señala:

Artículo 6. "Para obtener la autorización a que se refiere el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Impacto Ambiental, el interesado, en forma previa a la realización de la obra o actividad de que se trate, deberá presentar a la Secretaría correspondiente una Manifestación de Impacto Ambiental".

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Artículo 7. "Cuando quien pretenda realizar una obra o actividad de las que requieran autorización previa conforme a lo dispuesto por el Reglamento, considere que el impacto ambiental de dicha obra o actividad no causará desequilibrio ecológico, ni rebasará los límites y condiciones señalados en los reglamentos y normas técnicas ecológicas emitidas por la Federación para proteger al ambiente, antes de dar inicio a la obra o actividad de que se trate podrán presentar a la Secretaría un informe preventivo para los efectos que se indican en este artículo".

"Una vez analizado el informe preventivo, la Secretaría comunicará al interesado si procede o no la presentación de una Manifestación de Impacto Ambiental, así como la modalidad conforme a la que deba formularse, y le informará de las normas técnicas ecológicas existentes, aplicables para la obra o actividad de que se trate".

Artículo 8. "El Informe Preventivo a que se refiere el artículo anterior se formulará conforme a los instructivos que para ese efecto expida la Secretaría y deberá contener al menos, la siguiente información:

- Datos generales de quien pretenda realizar la obra o actividad proyectada, o en su caso, de quien hubiere ejecutado los proyectos o estudios previos correspondientes;
- Descripción de la obra o actividad proyectada.

De resultar insuficiente la información proporcionada, la Secretaría podrá requerir a los interesados la presentación de información complementaria".

IV.3 IMPACTO AMBIENTAL DEBIDO A LAS FUGAS DE AGUA

Para fines de este estudio, se contemplarán las obras y actividades previas, durante y después de la construcción de una red de agua potable, que pueden ser consideradas como causantes de impacto ambiental. A la vez, se considerará (de manera ilustrativa) las leyes aplicables que rigen en el Estado de México en materia ambiental. Todo esto, debido entre otras cosas a factores tales como: alto crecimiento poblacional, interacción social, política, económica y cultural con la

Ciudad de México (de donde surgen las Leyes Federales en materia ambiental), además de realizar proyectos comunes a ambos y de estar situados dentro de una misma zona geográfica, etc., y de ser el estado que representativamente ha encabezado la lista en toda la República Mexicana en la realización de proyectos de importante magnitud.

IV.3.1 PRESENTACION DE UN ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

El Estudio de Impacto Ambiental deberá contener los aspectos más sobresalientes del proyecto y del medio natural, así como los efectos ambientales positivos y negativos. Una breve reseña de las acciones que se implementarán con el fin de prevenir, corregir o minimizar los daños ambientales; un resumen del plan de manejo ambiental y del programa de monitoreo.

La introducción incluirá una relación de los profesionales participantes, los laboratorios utilizados y el equipo de monitoreo empleado. Mecanismos, procedimientos y métodos de recolección y análisis de información, fechas durante las cuales se llevaron a cabo los diversos componentes del estudio.

Como ya se ha mencionado, la Evaluación de Impacto Ambiental y específicamente el Estudio de Impacto Ambiental que ella incorpora, es un procedimiento analítico orientado a formar un juicio objetivo sobre las consecuencias de los Impactos derivados de la ejecución de una determinada actividad.

Así, pues la Evaluación de Impacto Ambiental es un proceso que atiende a dos vertientes complementarias. Por un lado establece el procedimiento jurídico-administrativo para la aprobación, modificación o rechazo de un Proyecto o actividad por parte de la Administración. Por el otro, trata de elaborar un análisis encaminado a predecir las alteraciones que el Proyecto o actividad puede producir en la salud humana y el Medio Ambiente (Estudio de Impacto Ambiental).

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

A raíz de la realización de los estudios ambientales y de los planes de ordenamiento territorial, existen una amplia gama de métodos de evaluación aplicados a los diagnósticos, los estudios de impacto ambiental, los planes de manejo, los sistemas de gestión ambiental, las auditorías y los planes de ordenamiento; tales métodos utilizan los modelos generales de evaluación de proyectos: listas de verificación, matrices simples y escalonadas, redes de flujo con rutas críticas y sistemas semicuantitativos de evaluación.

Para la obtención de la información requerida en las evaluaciones de impacto ambiental destaca la utilización de metodologías y técnicas de medición de variables ambientales, ya que con ellas es posible realizar adecuadamente una predicción, identificación e interpretación del impacto ambiental en los diferentes componentes del medio ambiente.

Es por eso que desde hace 15 años se está aplicando la utilización de ciertos factores o parámetros ambientales, los cuales tienen como característica presentar un rango de comportamientos en función de sus propiedades intrínsecas, o en función de las presiones ejercidas por las actividades humanas. Estos factores y parámetros ambientales son conocidos con el nombre de indicadores ambientales y sus análisis conjuntos se denominan índices ambientales.

Para la elaboración de los Estudios de Impacto Ambiental no existe aún una metodología específica ni un patrón bien definido, ya que los aspectos dependerán directamente del tipo de proyecto sobre el que se va a aplicar, de las características ambientales del sitio del proyecto, de la intensidad y extensión de los posibles impactos generados y de la profundidad de la modalidad de Manifestación de Impacto Ambiental que se va a elaborar.

Lo que sí existe es una serie de lineamientos básicos contenidos en los instructivos para la elaboración de las Manifestaciones de Impacto Ambientales en sus diferentes modalidades, y algunos manuales especializados dirigidos a la

elaboración de estudios de impacto ambiental para un sector productivo determinado.

La primera etapa conceptual de los estudios de impacto ambiental consiste en predecir e identificar las alteraciones producidas por el proyecto, el análisis de los objetivos y acciones susceptibles de producir impacto, así como la definición de la situación preoperacional del entorno, misma que comprende la identificación de elementos susceptibles de ser modificados, el inventario de estos elementos y la valoración del inventario. Los anteriores son entonces, el primer paso en la realización de un estudio de impacto ambiental.

El segundo paso consiste en la identificación y predicción de los impactos ambientales. Si existe más de una alternativa, se deberá hacer la valoración de impactos para cada una de ellas, lo que posteriormente hará posible una comparación de dichas alternativas, así como la selección de la más adecuada.

La última etapa de los estudios de impacto comprenderá la selección de medidas correctivas y de mitigación, la definición de impactos residuales después de aplicar esas medidas, el programa de vigilancia y control de alteraciones, y en caso de que sean necesarios, los estudios complementarios, así como el plan de abandono y recuperación.

El objetivo del Estudio de Impacto Ambiental es lograr un equilibrio entre las actividades de preparación del sitio, construcción, operación y mantenimiento y abandono del sitio con el medio ambiente natural, procurando que el deterioro ecológico sea el mínimo.

Para alcanzar este equilibrio se aplican técnicas y conocimientos interdisciplinarios con el fin de identificar y evaluar los impactos genéricos que produce la obra en términos de impacto nuevo en cada una de sus etapas, los elementos receptores, la duración, medición, calificativo y su efecto en el sitio como en el área de influencia, adicionándose las medidas de mitigación necesarias para los impactos adversos.

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Para determinar de una manera objetiva los impactos ambientales, estos serán descritos de acuerdo a las actividades programadas en el calendario de la obra. La profundidad para la realización del estudio dependerá de la magnitud y alcance del proyecto, aunque por otro lado también de las características naturales y socioeconómicas del sitio.

La importancia de incorporar consideraciones ambientales en todo proceso de desarrollo, permite definir una estrategia orientada a: Evitar el deterioro de los recursos naturales, a fin de que sigan proporcionando la base para mayor desarrollo económico sostenido; y ofrecer una advertencia adecuada de los efectos colaterales que puede ocasionar el desarrollo de proyectos que quizá originen costos que no han sido determinados en los procedimientos ordinarios de revisión.

Un aspecto importante dentro de la política de protección ambiental lo ocupan las acciones encaminadas a prever y controlar los daños que puedan ocasionar en el ambiente y población las actividades públicas o privadas que se llevan a cabo en el proceso de desarrollo económico y social.

Para la obtención de licencias y permisos de construcción se debe de presentar ante la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) un aviso de proposición de acción, llenando las propias formas que proporciona la Secretaría y para el caso del Distrito Federal se realizan los trámites ante las delegaciones correspondientes. Previamente se estudia la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, el Plan Nacional de Desarrollo Urbano, el Plan de Desarrollo Urbano de la localidad en la que se va a llevar a cabo el proyecto, así como del Estado al que pertenece el municipio o ciudad, y el Programa Nacional de Ecología en los rubros que cada uno de ellos tiene que ver con el proyecto según el caso para evitar discrepancias entre las Leyes y el propio proyecto.

Posteriormente a esta presentación del aviso de proposición de acción, la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) solicita que la información se amplíe

en un estudio que la Secretaría llama "términos de referencia" que es lo mismo que la Evaluación de Impacto Ambiental, como se ilustra en la siguiente:

1) Datos generales

- Nombre de la empresa u organismo solicitante.
- Nombre y puesto del responsable del Proyecto.
- Nacionalidad de la Empresa.
- Actividad principal de la Empresa.
- Domicilio para oír y recibir notificaciones.
- Responsable de la elaboración del informe preventivo.
- Ubicación geográfica, física y política, incluyendo coordenadas.
- Historia del lugar en donde se piensa llevar a cabo el proyecto, aspectos legales, situación y problemática actual incluyendo el plan de desarrollo urbano del lugar.
- Descripción de las características físicas, geomorfología, geología, edafología, hidrología y climatología.
- Determinación de usos del suelo a su vocación o capacidad de desempeño y capacidad de carga.
- Aspectos generales del plan o proyecto.
- Integración del plano o proyecto dentro de las políticas marcadas por el Plan Nacional de Desarrollo.

2) Ubicación y descripción general de la obra

- Nombre del proyecto.
- Naturaleza del proyecto (descripción general del proyecto, indicando la capacidad proyectada y la inversión requerida).
- Vida útil del proyecto.
- Programa de trabajo.
- Ubicación física de la obra proyectada.
- Situación legal del predio.
- Superficie requerida.

- Colindancia del predio y actividad que se desarrolla.
- Las actividades preponderantes en la zona.
- Vías de acceso.
- Vinculación con las normas y regulaciones sobre uso del suelo en el área de estudio.

3) Actividades a desarrollar en los sistemas de abastecimiento de agua potable

- Trazo de las líneas de conducción.
- Limpia, desmonte y despalme de terrenos.
- Corte de pavimentos asfálticos.
- Demolición del pavimento.
- Excavación de zanjas.
- Acarreos de materiales.
- Colocación de la plantilla.
- Instalación de la tubería.
- Construcción de cajas para válvulas.
- Relleno y compactación de excavaciones de la zanja.
- Reposición de pavimento asfáltico.
- Perforación y construcción de pozos.
- Colocación de equipos de bombeo.
- Trazo y nivelación de terreno para hincado de tubería de reposición.

4) Descripción de materiales, equipos y maquinaria utilizados en obra

- Tuberías de asbesto cemento, con sus accesorios (piezas especiales).
- Arena para plantilla.
- Relleno para excavaciones.
- Concreto simple.
- Tabiques.
- Pavimento asfáltico.
- Bombas para agua.

- Cables conductores de electricidad.
- Cortadoras de pavimento.
- Martillo neumático.
- Camiones de volteo.
- Palas hidráulicas o mecánicas.
- Motoconformadoras.
- Retroexcavadoras, rodillos vibratorios.
- Camiones pipa.
- Grúas.
- Máquinas soldadoras, etc.

Los recursos naturales como serán aprovechados en las diferentes etapas de la obra será el producto de la excavación, que se utilizará para el relleno de zanjas y para algunas mamposterías. La fuente de energía será a través de la infraestructura de energía eléctrica de la zona, previa autorización de la Compañía de Luz y Fuerza, así como de plantas generadoras de luz que trabajan con diesel. Con respecto a las fuentes de combustibles, estas serán las gasolineras de la zona en mención.

Dadas las características de las obras el agua será utilizada principalmente para la compactación de los materiales, y la cantidad estará en función del contenido de humedad de los mismos, así mismo se utilizara para elaboración de concretos y pruebas de tuberías. Los requerimientos de agua se cubrirán por medio de carros pipa.

Durante las etapas de preparación del sitio y construcción, los residuos sólidos se generarán principalmente de las actividades de construcción (cascajo, bolsas de papel de cemento, basura de los campamentos, embalajes de los equipos, etc.) y material producto de las excavaciones, en el caso de este último material, un porcentaje se reutilizara para el relleno de zanjas y elaboración de mamposterías, el resto será transportado a un banco de tiro determinado por las dependencias del municipio.

Los residuos líquidos, se generarán por el uso de letrinas portátiles o provisionales que se colocarán en los campamentos cercanos a la zona de proyecto así como los frentes de trabajo. Estos residuos podrán ser arrojados directamente a la infraestructura de alcantarillado del sitio o bien desalojadas por la empresa con quien se contrate el suministro y mantenimiento de las mismas.

5) Aspectos generales del medio natural

- Rasgos físicos.
- Climatología.

Análisis del medio físico

- Geomorfología y geología.
- Estudio de suelos.
- Hidrología superficial y subterránea (ríos, lagos, etc., estimación de caudales y calidad del agua).
- Clima (temperatura, humedad, precipitación, balance hídrico, velocidad y dirección de los vientos).
- Ruido (tipo y cantidad de agentes productores).
- Rasgos biológicos.
- Vegetación.
- Rasgos socioeconómicos.

Análisis del medio socioeconómico

- Demografía (población afectada directa o indirectamente por el proyecto).
- Factores sociales y culturales (encuestas y entrevistas para analizar el nivel de aceptación del proyecto).
- Inventario del patrimonio histórico existente, y probabilidad de que existan hallazgos de restos arqueológicos.
- Análisis cartográfico de vías existentes.
- Factores territoriales e institucionales (órganos administrativos implicados en el desarrollo de la infraestructura y planes que afectan la zona).

- Situación legal del corredor vial en cuanto a reservas forestales, reglamentos de usos de suelo y titularidad de predios en el área de influencia directa de la vía.

Análisis de riesgos

- Este incluirá una evaluación de la probabilidad de ocurrencia de eventos indeseados durante la construcción y operación del proyecto, para establecer los diversos niveles de riesgos, zonas más vulnerables, etc.

6) Medidas de mitigación de impacto ambiental

Tales medidas son las que se integran del conjunto de disposiciones y acciones anticipadas, que tienen por objeto evitar o reducir los impactos ambientales que pudieran ocurrir en cualquier etapa del desarrollo de una obra o actividad.

Para este caso, al ubicar las líneas de conducción de agua potable paralelas a las vías de tránsito vehicular existentes y dentro de los límites de derecho de vía, el escenario del paisaje no deberá verse afectado, ya que dentro del proyecto se contemplará el retiro de todo material (sólido y líquido), así como la reposición de lo que sea demolido para efectos constructivos.

La evaluación del Impacto Ambiental por ejecución de obras hidráulicas, se realiza desde el punto de vista de los posibles efectos provocados por las actividades productivas a realizarse en la zona, así como la explotación de recursos naturales, buscando las alternativas menos dañinas para el medio ambiente y que satisfaga el propósito y las necesidades del emprendimiento.

El propósito de esta evaluación ambiental es asegurarse de los recursos naturales, los aspectos socioeconómicos y culturales involucrados, aún indirectamente, pueden ser reconocidos antes del inicio de las obras para protegerlos con una buena planificación tomando las decisiones adecuadas, lo que permite utilizar las tecnologías más adecuadas para proteger tres puntos fundamentales, que son:

- Las condiciones estéticas y sanitarias del medio ambiente.

- La salud, la seguridad y el bienestar público.
- La calidad de los recursos naturales.

Para este proyecto de construcción la técnica de evaluación consiste en un sistema de interacciones entre las actividades de la obra y los factores ambientales, es decir un eje donde se incluyen las acciones causantes de Impacto Ambiental y en el otro lado, las condiciones existentes que puedan ser afectadas.

Cabe señalar que no todas las interacciones causan impactos, para hacer necesaria una evaluación de cada una de ellas, sino solo los impactos más relevantes.

En el análisis de identificación de los impactos se destacan aquellas acciones con efectos diversos y benéficos sobre el ambiente, induciendo y complementando las medidas de prevención y mitigación de los impactos adversos.

Para la evaluación es necesario la identificación de las interacciones existentes, considerando para cada acción los factores ambientales más relevantes, mediante los parámetros en duración, medición, calificación y su efecto en el sitio y área de estudio.

Los elementos y factores receptores del medio ambiente que se consideraron en éste estudio fueron los siguientes:

- Condiciones del suelo.
- Agua de infiltración.
- Microclima.
- Subsuelo.
- Relieve.
- Topografía.
- Paisaje.
- Acuíferos.
- Drenaje del terreno.
- Ser humano.

IV.3.2 PROGRAMA DE CONSTRUCCION DE OBRAS Y ACTIVIDADES PARA EVITAR FUGAS DE AGUA

Un programa de construcción representativo que ilustra los efectos del impacto ambiental debido a fugas de agua potable es como el que se presenta a continuación:

1) Preparación del sitio de obra

El impacto que generan las actividades concernientes a la etapa de preparación del sitio se describen a continuación y son resumidos en la Tabla IV.1 "Evaluación del Impacto Ambiental en la etapa de preparación del sitio".

- **Limpieza del terreno.** El principal impacto que se presenta durante esta fase es la remoción de la vegetación de pastizal degradado, en segundo término se afectan las condiciones del suelo, afectando estas al microclima del sitio.
- **Movimiento de tierras.** Esta incluye la excavación, transporte y acarreo del material. En esta fase se impacta en orden de importancia: el subsuelo, las condiciones del suelo y el pastizal; en segundo término la fauna terrestre y el relieve del terreno.
- **Nivelación y compactación.** Durante esta fase se impacta de manera permanente el relieve y topografía del terreno (que es la radiografía o diagnóstico físico que presenta el terreno en sí), el subsuelo, las condiciones del suelo y en segundo término el paisaje.
- **Acarreo de materiales.** En esta fase el hombre es el elemento receptor de esta operación.
- **Depósito de escombros.** En orden importancia se impacta: el relieve, la topografía y el paisaje.

**TABLA IV.1 EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL
EN LA ETAPA DE PREPARACIÓN DEL SITIO**

ETAPA	Nº.	ACTIVIDAD	ELEMENTO RECEPTOR	SITIO		
				DURACIÓN	EFEECTO	
PREPARACIÓN DEL SITIO DE OBRA	1	LIMPIEZA DEL TERRENO	FLORA	PERMANENTE	ERRADICACIÓN TOTAL	
			SUELO CONDICIONES	TEMPORAL	EROSIÓN LAMINAR	
			FAUNA SUELO		MODIFICACIÓN	
			FAUNA TERRESTRE		DESPLAZAMIENTO	
			AVES		PÉRDIDA PARCIAL	
			AGUA SUELO			
			MICRO CLIMA			
		MOVIMIENTO DE TIERRAS	FLORA	PERMANENTE	MODIFICACIÓN TOTAL	
			SUELO CONDICIONES		MODIFICACIÓN PARCIAL	
			SUBSUELO			
			FAUNA TERRESTRE			
			RELIEVE			
		NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN	TOPOGRAFÍA	TEMPORAL		MODIFICACIÓN TOTAL
			RELIEVE			
			SUBSUELO			
			SUELO CONDICIONES			
			PAISAJE		MODIFICACIÓN PARCIAL	
			AGUA PRECIPITACIÓN		MODIFICACIÓN TOTAL	
		ACARREO DE MATERIALES	HOMBRE		PARTÍCULAS SUSPENDIDAS, GASES, COMBUSTIÓN Y NIVEL DE RUIDO	
		DEPÓSITO DE ESCOMBRO	SUELO		MODIFICACIÓN PARCIAL	
RELIEVE						
TOPOGRAFÍA						
PAISAJE						

2) Construcción de la obra

El impacto que generan las actividades concernientes a la etapa de construcción se describen a continuación y son resumidos en la Tabla IV.2 "Evaluación del Impacto Ambiental en la etapa de construcción".

- Vialidades. En orden de importancia se impacta con esta construcción la infiltración y escorrentía del agua, el microclima, el paisaje, la fauna y el hombre. Al evitar infiltraciones del agua a los mantos acuíferos una vez colocado el pavimento asfáltico, la impermeabilidad de éste provoca alteraciones en el suelo, afectando a micro ecosistemas existentes dentro del mismo.

**TABLA IV.2 EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL
EN LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN**

ETAPA	No.	ACTIVIDAD	ELEMENTO RECEPTOR	SITIO	
				DURACIÓN	EFFECTO
CONSTRUCCIÓN DE LA OBRA	II	VIALIDADES	MICRO CLIMA	PERMANENTE	RADIACIÓN TEMPORAL
			AGUA INFILTRADA		ESCURRIMIENTO
			PAISAJE		MODIFICACIÓN PARCIAL
			FAUNA		DESPLAZAMIENTO
			HOMBRE		PARTÍCULAS SUSPENDIDAS
					COMBUSTIÓN
					NIVEL DE RUIDO
					PAISAJE

3) Operación y Mantenimiento de la Obra

El impacto que generan las actividades concernientes a las etapas de operación y mantenimiento se describen a continuación y son resumidos en la Tabla IV.3 "Evaluación del Impacto Ambiental en la etapa de operación y mantenimiento".

- Suministro de agua potable. La aportación de agua en este complejo urbano es uno de los impactos significativos adversos en los acuíferos y cuerpos de agua.

**DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS
EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE**

- Residuos sólidos y líquidos. La generación de éstos residuos tendrán un impacto adverso significativo, en los cuerpos de agua, el paisaje y finalmente el hombre.

**TABLA IV.3 EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL
EN LA ETAPA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

ETAPA	No.	ACTIVIDAD	ELEMENTO RECEPTOR	SITIO	
				DURACIÓN	EFECTO
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA OBRA	III	SUMINISTRO DE AGUA POTABLE	AGUA ESTATAL	PERMANENTE	CANTIDAD CALIDAD
			ACUÍFEROS		DISMINUCIÓN DE AFORO
			CUERPOS DE AGUA		
		RESIDUOS SÓLIDOS Y LIQUIDOS	PAISAJE		CONTAMINACIÓN
			CUERPO DE AGUA		
			HOMBRE	TEMPORAL	

IV.3.2.1 MEDIDAS DE MITIGACIÓN

1) Etapa de preparación del sitio de Obra

Se deberá visitar el lugar y cuidar que el suelo producto del despalme no se contamine con residuos sólidos domésticos o con cascajo para utilizarse posteriormente como material de composta, debiendo destinar un sitio específico para depositar temporalmente el suelo producto del despalme. Durante la época de estiaje, se deberá regar constantemente con agua tratada el área despalmada, con el fin de evitar la emisión de partículas al ambiente.

Con el objetivo de conservar el agua de lluvia y evitar la erosión laminar o surcos en el terreno, se deberá hacer la limpieza del terreno y el movimiento de tierras, bajo un programa de trabajo por áreas, además de construir drenes para la captura de agua. Durante las obras de preparación y construcción del sitio se deberán respetar los límites máximos permisibles de emisión de ruido, de acuerdo

con lo establecido en el Reglamento para la Protección al Ambiente originada por la emisión de ruido. El horario de trabajo apropiado para evitar ruidos y molestias a los habitantes de la zona en horas inapropiadas será de 8:00 a 19:00 horas.

Los vehículos de carga y descarga de material se adaptarán de manera que eviten la emisión de contaminantes al aire o al suelo cubriéndolos con lonas y su horario de traslado se llevará a cabo de 10:00 a 13:00 horas y de 16:00 a 19:00 horas, de manera que se evite transitar en horas críticas de vialidad. Asimismo se colocarán los señalamientos pertinentes para evitar probables accidentes tanto a vehículos como a peatones.

Los materiales pétreos (arena, grava y tepetate) requeridos para la preparación del sitio y construcción, deberán ser abastecidos en su totalidad por bancos autorizados por la Secretaría de Ecología del Estado de México o por empresas dedicadas a su comercialización. Durante las obras de preparación y construcción, para evitar las excretas al aire libre se instalará un sanitario portátil por cada veinte trabajadores o menos que se encuentren laborando en la obra. Se deberá contar con un lugar específico para el consumo de alimentos de los trabajadores y evitar que se enciendan fogatas en el predio.

Los materiales de desecho producto de las diversas actividades de preparación del sitio y construcción, deberán ser dispuestos en el sitio que indique la autoridad correspondiente. La residencia de obra del campamento de personal será ubicado en los límites del área urbana, a fin de contar con todos los servicios propios de la urbanización y evitando la instalación de campamentos en la zona de proyecto.

2) Etapa de construcción de la obra

Para el desarrollo del proyecto se permitirá la creación de una área de almacenamiento en la cual se identificará cada material mediante letreros claramente visibles y etiquetas que indiquen sus características CRETIB (Corrosividad, Reactividad, Explosividad, Toxicidad, Inflamabilidad y Biológico infeccioso).

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

El equipo y maquinaria por utilizar durante las diferentes etapas del proyecto, deberán estar en óptimas condiciones de mantenimiento, con el fin de que se cumpla con lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-041-ECOL-1993, referente a los niveles máximos permisibles de emisión de gases provenientes del escape de vehículos automotores en circulación.

En caso de realizar reparaciones in situ de maquinaria y equipo, el personal deberá tener precaución de evitar derrames antes de realizar cualquier actividad, de ocurrir este, el personal deberá inmediatamente remover el suelo contaminado, depositarlo en una bolsa y trasladarlo al sitio de contaminación de residuos.

Los residuos sólidos tales como recortes de papel, cartón y madera deben destinarse a compañías que se dediquen al reciclaje de estos materiales. Los residuos sólidos domésticos generados durante la etapa de construcción del proyecto se depositarán en contenedores que cuenten con tapa y deberán ser entregados al sistema de limpieza municipal.

Los aceites y grasas generados por el mantenimiento de la maquinaria y el equipo de apoyo (vehículos), deberán manejarse de acuerdo con lo establecido en el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en materia de residuos peligrosos.

Es importante mencionar que aunque es difícil evaluar el impacto ambiental debido a fugas de agua potable, éstas pueden ser causa de un deterioro de magnitud considerable en el medio ambiente. Para finalizar, se concluye que la Evaluación de Impacto Ambiental puede resumirse en una matriz de impacto ambiental.

Dichas matrices pueden ser cualitativas o cuantitativas. En ambos casos se realiza en un cuadro de doble entrada en cuyas columnas se colocan las acciones impactantes del proyecto (aspectos ambientales) y en las filas los medios ambientales susceptibles de recibir impactos (agua, aire, suelo, etc.).

La diferencia entre las matrices cualitativas y cuantitativas se presenta en el cuadro formado por la interacción de la columna con la fila. En las matrices cualitativas las acciones y los efectos pueden quedar especificados en función de su carácter negativo (-) o positivo (+) según sea el caso, en el medio ambiente.

El impacto negativo es aquel cuyo efecto se traduce en pérdida de valor naturalístico, estético-cultural, paisajístico, de productividad ecológica o en aumento de los perjuicios derivados de la contaminación, de la erosión y demás riesgos ambientales en discordancia con la estructura ecológico-geográfica, el carácter y la personalidad de una zona determinada. Para el caso del impacto positivo serán todos aquellos efectos que se traducen en el mejoramiento y enriquecimiento de ecosistemas existentes, manteniendo un equilibrio ecológico en todo momento con el medio ambiente.

En las matrices cuantitativas cada efecto tiene un valor numérico determinado, ponderado en función de su incidencia sobre el conjunto, considerando las características particulares del proyecto y situación del entorno en donde se tenga planeado llevar a cabo tal proyecto.

A continuación en el Capítulo V “Proceso Constructivo para la Rehabilitación del Sector en Estudio”, se desarrolla lo relacionado con la determinación de los tiempos, movimientos, costos de la reparación de la red hidráulica y así poder optimizar los recursos financieros, materiales, y humanos en el proceso de la rehabilitación de la red en estudio.

CAPÍTULO V

PROCESO CONSTRUCTIVO PARA LA REHABILITACIÓN DEL SECTOR EN ESTUDIO

CAPÍTULO V

PROCESO CONSTRUCTIVO PARA LA REHABILITACIÓN DEL SECTOR EN ESTUDIO

En este capítulo se estudian los pasos a seguir para lograr la rehabilitación una red de agua potable, teniendo en cuenta las necesidades de la población así como la premura por el caudal desperdiciado. Por otra parte con la disposición de las computadoras personales de gran capacidad de memoria, ahora se puede llevar una mayor cantidad de información con precisión y prontitud. Otro de los aspectos del proceso de rehabilitación es la determinación de qué tipo de equipo se necesitan para realizar dicha labor y sus costos horarios asociados.

El objetivo de este capítulo es analizar las partes del proceso constructivo, para determinar, tiempos, movimientos y costos de la reparación de la red hidráulica y poder optimizar el proceso de la rehabilitación y que a su vez resulte lo más económico. 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 que organice el personal, equipo, herramientas y material.

En sí el objetivo de este capítulo es elaborar un programa de obra para la rehabilitación que 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 con los datos de la rehabilitación.

V.1 PROCESO DE REHABILITACIÓN DEL CONJUNTO EN ESTUDIO

A continuación se enuncian los pasos a seguir para realizar el proceso de rehabilitación de las fugas de agua potable de la red en estudio.

V.1.1 PLANEACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

Para llevar a buen término el proceso de rehabilitación de la red en cuanto a fugas de agua es necesaria la planeación del proceso constructivo. La planeación en general ayuda a satisfacer las necesidades humanas básicas, como las de vivienda, transporte y bienes de consumo además de ayudar a conservar y proteger los recursos, así como a mantener la calidad del medio ambiente.

Los estudios de planeación, al examinar racionalmente el conjunto de soluciones a los problemas existentes, pueden llevar a una solución que no se convierta en un problema futuro. El primer paso para el proceso de la elaboración de cualquier proyecto es el desarrollo de un plan de acción que defina perfectamente las funciones de cada área, la asignación específica del trabajo, así como de las instrucciones y lineamientos para lograr los objetivos deseados.

De ahí el comprender que la planeación tiene diferentes matices, significados y formas de ver en la industria de la construcción ya que para algunos la planeación puede ser definida como:

“La etapa dentro del desarrollo de un proyecto en que se definen las metas y objetivos específicos, como también los métodos par abordarlo y la estrategia y organización par lograr dichos objetivos”. “Es el evento previo par determinar y especificar los factores, fuerzas, efectos y relaciones necesarias par alcanzar los objetivos del proyecto”. De una u otra manera, las definiciones hacen recordar que el utilizar experiencias anteriores usualmente obtenidas por errores y éxitos en el pasado evita cometer los mismos errores en el futuro; además de aprender a planear lo inesperado, tenemos que pensar en todo lo necesario par realizar los proyectos sin

perder el punto de vista de que todas las actividades son relevantes para culminar exitosamente.

Una manera sencilla para poder desarrollar la planeación de lo proyectado es separarla en tres grupos como son:

- La planeación estratégica.
- La planeación operativa.
- La planeación y programación.

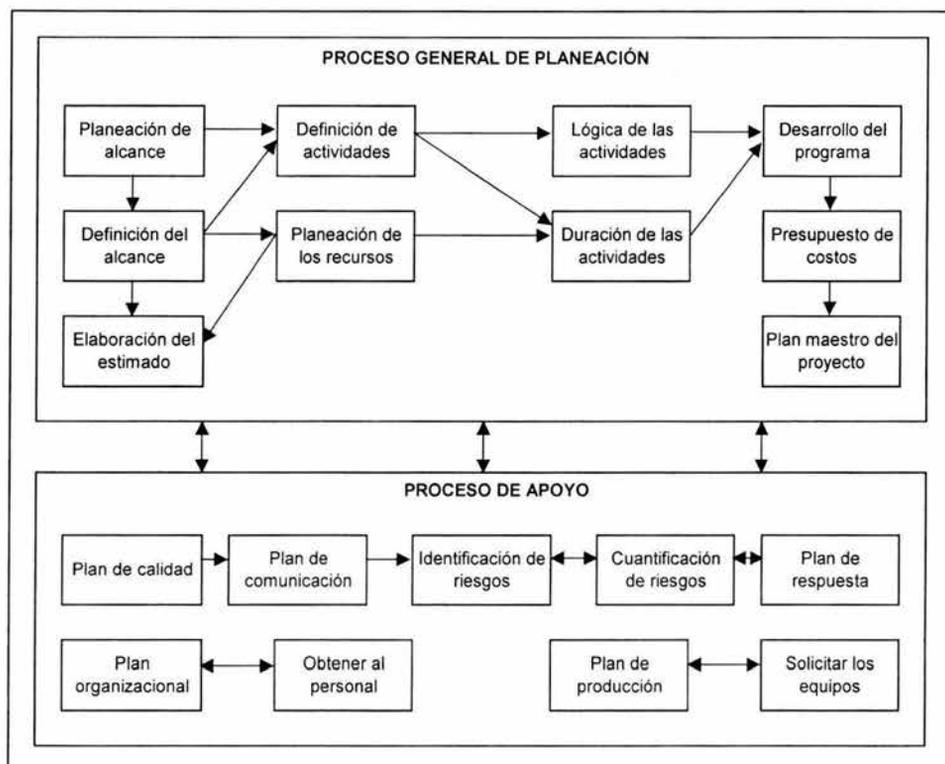
La planeación estratégica es aquella que se encarga de investigar cuales serían los aspectos y elementos que se necesitan para realizar el proyecto, como es el caso de factibilidad del mismo, fecha de inicio de trabajos y es realizada principalmente por el propietario antes de que se continúe con el proyecto.

La planeación operativa es aquella que se encarga de investigar cuales serían los recursos y elementos necesarios para poder llevar a cabo los objetivos principales del proyecto; esta planeación es realizada por el equipo de trabajo y el éxito depende de la comunicación que se tenga entre el propietario y el equipo.

Por último, se tiene a la planeación y programación, que debe de unir a la planeación estratégica con la planeación operativa para representar en el programa del proyecto (el programa maestro), los objetivos principales que se obtuvieron durante la planeación estratégica con los recursos y herramientas necesarias que se obtuvieron en la planeación operativa.

A continuación, en la Figura V.1 “El proceso general de la planeación” se muestra que dentro del proceso principal de la planeación se encuentra el proceso de la programación, el cual comienza haciendo un desglose del trabajo a realizar en tareas o actividades que deben ser claramente analizadas para determinar de manera exacta que se debe hacer, dónde comienza y dónde termina.

FIGURA V.1 EL PROCESO GENERAL DE LA PLANEACIÓN



El siguiente paso es definir las interrelaciones y dependencias que cada actividad tiene con las demás actividades del proyecto dentro de las áreas o sub-áreas de trabajo. Si las actividades fueran a realizarse en orden consecutivo, la planeación y la programación serían sencillas; sin embargo, cada actividad tiene su propio requerimiento de tiempo y su inicio depende del comienzo y término de otras actividades relacionadas, al mismo tiempo muchas actividades son independientes unas de otras y por lo tanto pueden ser llevadas a cabo simultáneamente; de esa manera, cuando las necesidades individuales de cada actividad con respecto a materiales, equipo y mano de obra se sobreponen, resulta obvia la necesidad de planear y programar el proyecto.

V.1.2 PROGRAMA DE REHABILITACIÓN

Las técnicas usadas para la planeación y programación del proyecto pueden variar dependiendo del tipo, tamaño, complejidad, duración, personal asignado, requerimientos del cliente y hasta su historia.

Es por ello que surge la necesidad de utilizar un programa de construcción, el cual consiste en ordenar las diversas operaciones comprendidas en la construcción de un proyecto, en la secuencia requerida para lograr su terminación en el mínimo periodo que sea económicamente viable para asegurar la terminación del trabajo dentro del tiempo límite estipulado por el contrato; y para reducir el tiempo requerido para realizarlo, es necesario programar cada unidad del proyecto y relacionarla con todas las otras.

Usualmente el Gerente o Responsable del proyecto debe escoger una técnica de programación que sea simple de utilizar e interpretar por los participantes del proyecto.

Existen diversos métodos generales que son comúnmente usados:

- La gráfica de barras (usualmente nombrado como diagrama de Gantt).
- El programa de eventos.
- Programación lineal.
- Línea de balance o comparación.
- Programa de Revisión y Evaluación Técnica, o Program Evaluation and Review Technique cuyas siglas en inglés son (PERT)
- El Método de Ruta Crítica o sistema de análisis de redes, llamado también Critical Path Method (CPM).
- El método de diagramas de flechas.
- El método de Programa de revisión y evaluación Técnica/Costos.
- El método de diagramas de precedencias.

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Se puede desarrollar la obtención o estimación de la duración de las actividades, esta parte del proceso de elaboración de un programa se puede decir que consta de tres elementos:

- Determinar el intervalo de tiempo de los periodos.
- Estimar u obtener la duración de las actividades.
- Determinar el tiempo de contingencia de cada actividad.

El intervalo de tiempo o escala debe ser seleccionado como medida básica, pudiendo ser mes, semana, día, etcétera; a su vez, éstas se pueden dividir en:

- Días calendario: para proyectos o redes que están compuestos en su mayoría por actividades con suministros.
- Días hábiles o de trabajo: de lunes a viernes y en algunas ciudades se toma en cuenta el sábado.

Cabe aclarar que el intervalo seleccionado debe ser utilizado durante la vida del proyecto. La duración de las actividades es una de las tareas más importantes para que el programa sea una representación real del proyecto, existiendo diversas maneras para determinarlas:

- A juicio del que programa de acuerdo con la experiencia del programador en proyectos o actividades similares.
- Utilizando guías típicas de rendimientos publicados por distintos organismos.
- Por medio de pláticas directas con la gente de campo que va a realizar el trabajo.

La consideración de la contingencia en los programas es vital para cubrir los imprevistos; el clima es el factor principal de los retrasos del proyecto en algunos casos también, está la entrega de los materiales o equipos a destiempo.

La contingencia se maneja de tres maneras:

- Por actividad antes de su inicio.

- Por actividad después de su terminación.
- Por el proyecto al final de mismo.

Los tiempos de la contingencia se calculan en función de los conocimientos del alcance del proyecto, conocimientos de la metodología, complejidad del proyecto, disponibilidad de recursos y experiencias; en éste caso, el programa utilizado en el Gantt, que a continuación se hace una breve explicación.

Henry L. Gantt concibió la técnica en 1917 subsistiendo hasta nuestros tiempos con su nombre "Las barras de Gantt". La técnica es simple, fácil de entender y logra el resultado final de mostrar el plan original de manera breve y sencilla para que cualquiera pueda entenderlo.

Lo que hace el sistema es representar el inicio y el terminación de actividades o tareas del proyecto mediante el dibujo de barras de manera transparente o blanca, sobre una representación de tiempo horizontal o barra de tiempo horizontal; la longitud de la barra va en función de la escala que se utilice para el tiempo, conforme a la unidad de tiempo que se esté manejando (días, meses, años, etc.).

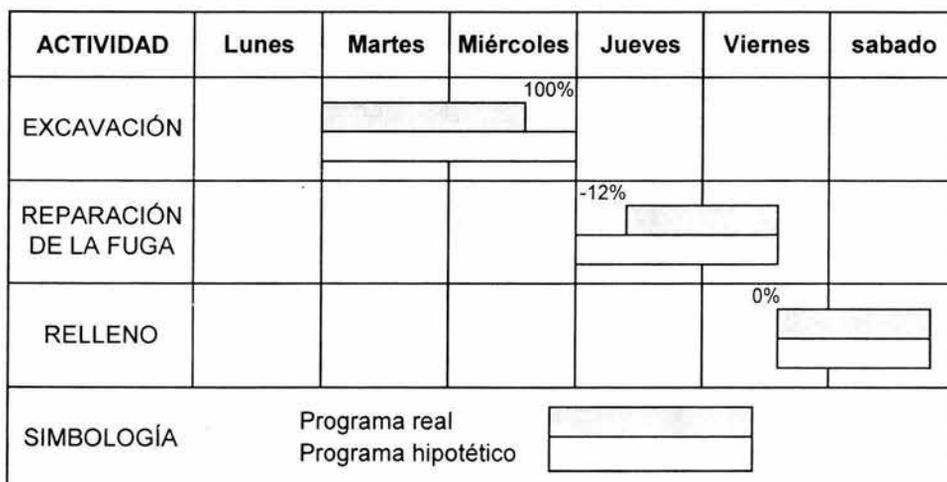
Indica también las actividades o partidas en las cuales se empalma el trabajo, las partidas que traslapan a otras y por qué cantidad y las partidas que deben quedar terminadas antes de que se comiencen otras. Para representar el avance del proyecto en las barras se puede realizar de dos formas:

- 1) Dibujar la barra con gris donde se represente el porcentaje de avance real de la actividad.
- 2) Mediante el dibujo de una segunda barra exactamente abajo o arriba de la barra que representa el avance real de la actividad, la cual se dibuja con color blanco o transparente hasta donde se representa el avance de la actividad programada.

**DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS
EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE**

Lo anterior se puede ver reflejado mediante la suposición de un ejemplo, como lo muestra la Figura V.2 “Programa de obra utilizando el método de barras de Gantt” en el cual indica que la partida de excavación comenzó en la fecha programada y que se terminó antes de tiempo, en tanto que el trabajo de reparación comenzó tarde; pero se terminó a tiempo de acuerdo a lo programado.

**FIGURA V.2 PROGRAMA DE OBRA UTILIZANDO
EL MÉTODO DE BARRAS DE GANTT**



El programa de rehabilitación debe de mejorar la relación de volumen consumido de agua potable por la población, entre el volumen producido en la planta potabilizadora. Además debe atender la demanda actual no cubierta, sin incremento en el suministro de agua potable; 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 de agua potable. La estrategia para el establecimiento claro y preciso de la forma según la cual se organizará e instrumental el programa de rehabilitación de fugas, es 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 de la rehabilitación de fugas, es difícil identificar un área en el organismo operador o empresa contratista, 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 rehabilitación de fugas.

Con la jerarquización se determinan las prioridades del programa de rehabilitación 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:

- Relación beneficio/costo de cada proyecto o actividad o,
- En función del orden técnico lógico con el que se hacen.

Con lo anterior se construye la matriz conocida con el nombre de 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.

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.

Para lograr el objetivo de la rehabilitación, en primer lugar se recomienda como conveniente contar con un plano general de la localidad, con la indicación de las obras de tratamiento, tanques de distribución, estaciones de bombeo, cámaras reguladoras de presión, etc. En la red de distribución se señalará la ubicación y el

diámetro de las tuberías, conexiones en los cruces, posición de las válvulas, hidratante, etc. El plano indicará los límites de la zona de servicio (radio servido) y de distintas presiones.

A su vez el plano general de la red debe estar dividido en cuadrículas siguiendo el orden de las coordenadas, de modo que cada cuadrícula ocupe el espacio de un plano a escala mucho mayor. Cada cuadrícula deberá estar numerada y se identificará con una línea gruesa en un esquema de todas las cuadrículas del plano en un costado del mismo. Llevará en las esquinas los números de las cuadrículas adyacentes. También es deseable que caso de que existan tuberías con distintas fuentes de alimentación, junto al diámetro debe estar especificado por medio de iniciales la fuente o tanque de alimentación; las zonas de servicio se indicarán con líneas de señalamiento, se estudiará la nomenclatura para individualizar las intersecciones y donde en cada esquina se acota el nivel de cruce de calles y tapa de las tuberías.

A continuación se describe el objetivo de éste capítulo que es el establecimiento del Programa de Obras, para esto se debe haber definido los objetivos del control de fugas, y ahora se debe diseñar una estrategia, que consiste en proponer un grupo de trabajo que se encargará de coordinar todas las actividades, políticas, normas y procedimientos del programa.

V.1.3 ORGANIZACIÓN DEL PERSONAL, EQUIPO, HERRAMIENTA Y MATERIAL

Las obras se deben programar de acuerdo a las características de la fuga. Ésta 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.

V.1.4 ACCIONES A SEGUIR PARA LA EJECUCION DE LA OBRA

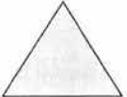
a) Traslado a la zona de maniobras.

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 cause molestias y señalarlo por medio de barreras y avisos. Se deberá de notificar a la delegación política o municipio correspondiente el retiro del material sobrante. Debe consultar la **NOM-026-STPS-1998** en la página http://www.stps.gob.mx/312/312_1026.htm se dan las normas de los señalamientos. En la Figura V.3 "Formas geométricas de señalamientos" se muestran estas formas:

FIGURA V.3 FORMAS GEOMÉTRICAS DE SEÑALAMIENTOS

SIGNIFICADO	FORMA GEOMÉTRICA	DESCRIPCIÓN DE LA FORMA GEOMÉTRICA	UTILIZACIÓN
PROHIBICIÓN		Círculo con banda circular y banfa diametral oblicua a 45° con la horizontal, dispuesta de la parte superior izquierda a la inferior derecha.	Prohibición de una acción susceptible de provocar un riesgo.
OBLIGACIÓN		Círculo	Descripción de una acción obligatoria.
PRECAUCIÓN		Triángulo equilátero. La base deberá ser paralela a la horizontal.	Advierte de un peligro.

c) Cierre de válvulas

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 de agua, 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 concrete 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.

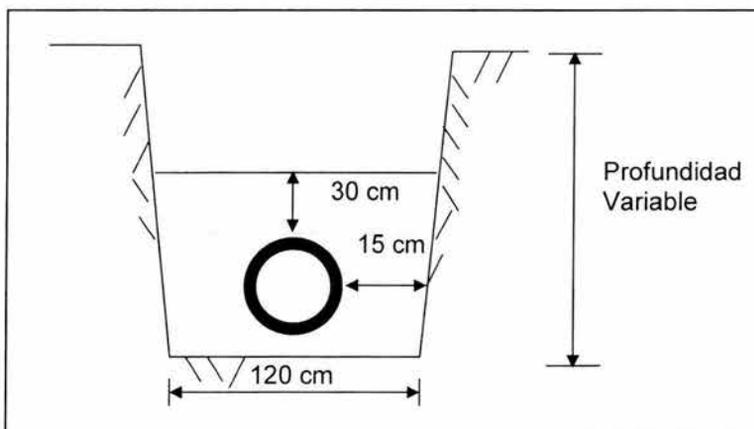
Este acero servirá para obtener una buena liga y proporcionó apoyo al armado del nuevo pavimento. Para este caso se empleará martillo neumático y disco.

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, como se muestra en la Figura V.4 "Dimensiones mínimas en excavaciones para reparación de fugas", se procurará que los taludes del corte se aproximen a la vertical, hasta donde las condiciones de seguridad lo permitan. Hay que tener en cuenta que donde existen fugas de agua el suelo esta excesivamente húmedo y la excavación se puede derrumbar.

FIGURA V.4 DIMENSIONES MÍNIMAS EN EXCAVACIONES
PARA REPARACIÓN DE FUGAS



f) Achique

El achique, consiste en el desalojo del 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 emplearán botes o cubetas 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 y compactación

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 pisones 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 pisón de piso.

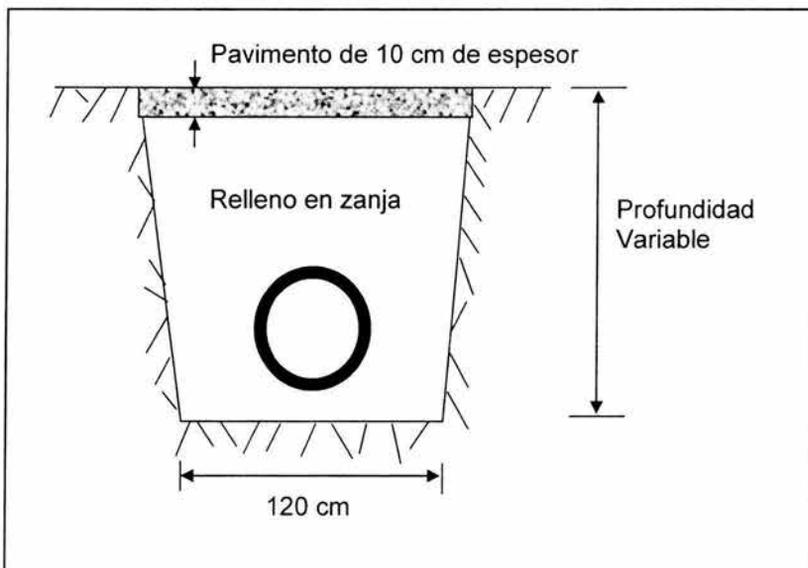
i) Acarreo de material sobrante

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 consiste en colocar una carpeta de concreto o asfalto de 10 cm de espesor, después de haber reparado la fuga de agua y relleno la excavación, esta losa debe de tener un acabado horizontal al nivel del de la calle de tal manera que no quede sobre el nivel de la calle ni debajo de ésta. En la Figura V.5 "Reposición de la carpeta" se muestra su posición relativa.

FIGURA V.5 REPOSICIÓN DE LA CARPETA



**TABLA V.1 REQUISITOS PARA EL CONTROL DE FUGAS
 EN EL CATRASTRO TÉCNICO DE LAS INSTALACIONES
 Y EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN CON PITOMETRÍA**

TÍTULO DE PROYECTO	PRE-REQUISITOS A LA IMPLANTACIÓN DEL PROYECTO	PÉRDIDAS FACTIBLES DE SER REDUCIDAS	RESULTADOS ESPERADOS
Subprogramas de operación de servicio: catastro técnico de las instalaciones.	Ninguno.	Fugas. Derrames. Consumos excesivos de los procesos. Consumos clandestinos.	Mejoras del suministro de agua. Satisfacción del usuario. Mejoras del nivel de servicios.
Catastro de la red de distribución.	Planos planialtimétricos o planimétricos actualizados.	Fugas. Consumos excesivos de los procesos.	Mejoras del suministro de agua. Mejoras del nivel de servicios.
Pitometría.	Catastro de las tuberías (líneas de conducción) donde serán instalados los macromedidores del 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 grandes consumidores. Consumos clandestinos.	Control operacional más efectivo. Rentabilidad. Satisfacción del usuario.

**TABLA V.2 REQUISITOS PARA EL CONTROL DE FUGAS
EN LA MACROMEDICIÓN Y EN EL CONTROL
DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA**

TÍTULO DEL PROYECTO	PRE-REQUISITOS A LA IMPLANTACIÓN DEL PROYECTO	PÉRDIDAS FACTIBLES DE SER REDUCIDAS	RESULTADOS ESPERADOS
Macromedición	<p>a) De caudal.</p> <p>Pitometría y catastro para los casos de medición del sistema productor.</p> <p>Pitometría y catastro de tuberías para los casos de medición del sistema distribuidor.</p> <p>b) De presión</p> <p>Catastro de la red de instalaciones.</p> <p>Catastro de la red de distribución para la medición en las redes.</p> <p>c) De nivel</p> <p>Catastro técnico de instalaciones.</p>	<p>Errores de estimación de volúmenes excesivos de suministro.</p> <p>Consumos excesivos de los procesos.</p> <p>Derrames.</p>	<p>Control operacional más efectivo.</p> <p>Rentabilidad.</p> <p>Satisfacción del usuario.</p>
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 comparativos de redes de determinación de curvas de conjuntos de motobombas.</p> <p>Evaluación del 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 excesivos de los procesos.</p>	<p>Mejoras de suministro de agua.</p> <p>Mejoras del nivel de servicio.</p> <p>Satisfacción del usuario.</p> <p>Rentabilidad.</p>

TABLA V.3 REQUISITOS PARA EL CONTROL DE
FUGAS EN OTROS PROYECTOS

TÍTULO DEL PROYECTO	PRE-REQUISITOS A LA IMPLANTACIÓN DEL PROYECTO	PÉRDIDAS FACTIBLES DE SER REDUCIDAS	RESULTADOS ESPERADOS
Control de fugas y mantenimiento de la red de distribución y de tomas domiciliarias.	<p>Control de operación del sistema de agua.</p> <p>Catastro de la red de distribución con fines de detección de fugas en redes.</p> <p>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 pueden prescindir de macromedición en caso de que se de urgencia extrema.</p>	<p>Fugas.</p> <p>Consumos excesivos de los procesos.</p> <p>Consumos extraordinarios.</p>	<p>Mejoras del suministro de agua.</p> <p>Satisfacción del usuario.</p> <p>Rentabilidad.</p> <p>Productividad.</p>
Mantenimiento de unidades operacionales.	<p>Control de operación del sistema de agua.</p> <p>Catastro técnico de instalaciones.</p>	<p>Fugas.</p> <p>Derrames.</p>	<p>Mejoras del suministro de agua</p> <p>Satisfacción del usuario.</p> <p>Mejoras del nivel de servicio.</p> <p>Rentabilidad.</p> <p>Productividad.</p>
Mantenimiento electromecánico	<p>Control de operación del sistema de agua.</p> <p>Catastro técnico de instalaciones.</p>	<p>Derrames.</p> <p>Fugas.</p> <p>Errores de macromedición.</p> <p>Errores de estimación de consumo de medidores.</p>	<p>Mejoras del suministro de agua</p> <p>Mejoras del nivel de servicio.</p> <p>Rentabilidad.</p> <p>Productividad.</p>
Revisión de criterios de diseño y construcción.	<p>Implementación después de la obtención de resultados de algunos de los proyectos para permitir valuaciones más racionales de los diseños constructivos.</p>	<p>Fugas.</p> <p>Derrames.</p> <p>Consumos excesivos de los procesos.</p>	<p>Mejoras del suministro de agua</p> <p>Mejoras del nivel de servicio.</p> <p>Satisfacción del usuario.</p>

V.2 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

El procedimiento constructivo esta integrado por las siguientes etapas de reparación, como son: preliminares que consiste en la colocación de señalamientos, y la investigación de la clase de material de que está formada la red de agua potable, las etapas intermedias, como es la excavación y el cambio de piezas dañadas y las etapas finales como son el relleno compactado y la repavimentación de las áreas previamente dañadas.

A continuación se exponen los materiales más comunes que se pueden encontrar en las redes de agua potable.

V.2.1 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN REDES DE AGUA POTABLE

En esta sección se mencionan algunos de los materiales que se utilizan en la reparación de fugas de agua, en primer lugar se expone algunas clases de tuberías, como son las de cloruro de polivinilo y las de polietileno.

V.2.1.1 TUBERIAS

A continuación se da una descripción de los materiales que podemos encontrar en las redes de agua potable. Las tuberías de agua potable pueden ser de:

- Tubos de cloruro de polivinilo (PVC)
- Tubos de polietileno de alta densidad
- Tubos de asbesto cemento o fibro-cemento
- Tubo de acero
- Tubo de hierro fundido
- Tubo de concreto con acero pretensado

Los códigos de estandarización fabricación e instalación de tuberías nacionales e internacionales se presentan en el Anexo D "Principales Códigos y Estándares Nacionales e Internacionales de Fabricación e Instalación de Tuberías". Los códigos y estándares, son documentos los cuales establecen métodos para manufactura y prueba.

Los documentos son preparados y se actualizan por comités, cuyos miembros representan Sociedades Industriales, Gobierno, Universidades, Institutos, Sociedades Profesionales, Comercio Industrial, Confederaciones laborales, etc.

La ingeniería práctica provee formas de las bases de estándares y códigos, de esa manera se incluyen requerimientos mínimos para la selección de material, dimensiones, diseño, edificación, inspección y prueba para implantar la seguridad de los sistemas de tubería. Revisiones periódicas son realizadas para incorporar a los códigos y estándares el desarrollo de la Industria.

Estos códigos y estándares se verán más adelante, tanto normas para la República Mexicana como códigos internacionales y como México tiene una cercanía con los Estados Unidos de América también se enunciarán códigos y estándares referentes a tuberías y partes para conducción de agua potable con la finalidad de conocer los materiales y condiciones donde se puedan presentar fugas de agua.

A continuación se muestran las partes que componen una red de agua potable, en primer lugar mostraremos las piezas que integran una toma domiciliaria típica, donde se puede presentar alguna fuga.

El agua fluye desde el tubo de la red municipal de agua potable, pasa a través de la válvula de inserción, y se conduce al tubo de la toma domiciliaria que atraviesa por la válvula de banqueta y entra al terreno privado donde se encuentra el medidor de agua, a continuación se conduce el agua para el servicio domiciliario o comercial.

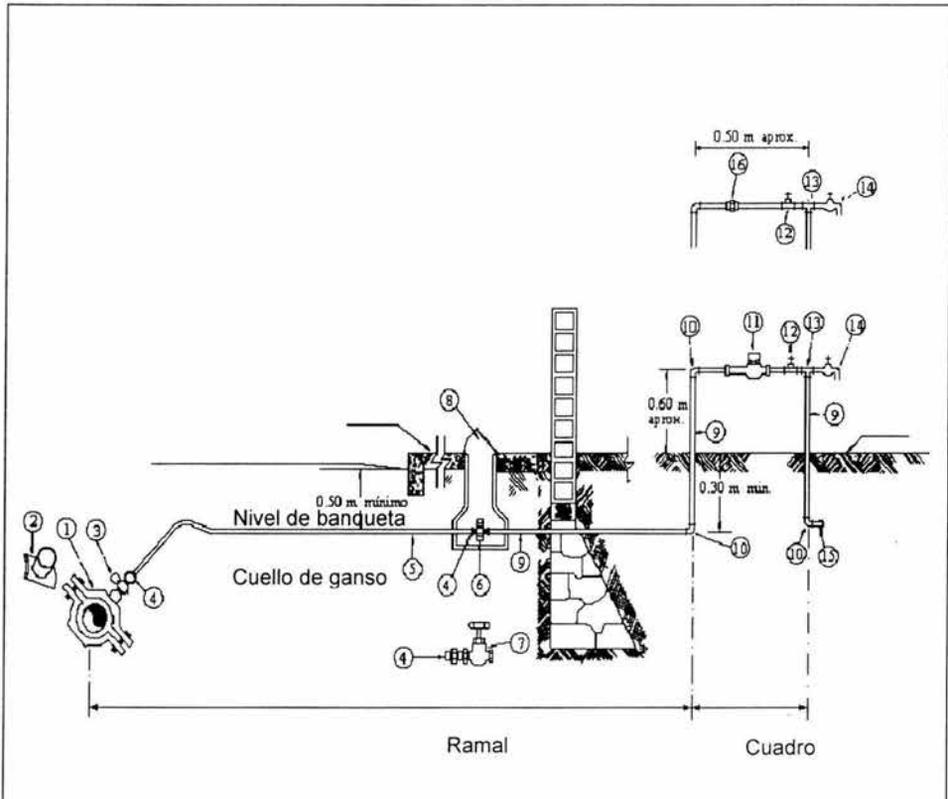
En la Figura V.6 "Toma domiciliaria típica" se muestra los elementos numerados que son:

- 1) Abrazadera
- 2) Silleta
- 3) Válvula de inserción
- 4) Conector

**DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS
EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE**

- 5) Tubo flexible
- 6) Válvula de banqueteta
- 7) Válvula limitadora de servicio
- 8) Caja para válvula de banqueteta
- 9) Tubo rígido
- 10) Codos de 90 grados
- 11) Medidor
- 12) Válvula de seccionamiento
- 13) Te
- 14) Válvula de nariz
- 15) Tapón
- 16) Tuerca unión

FIGURA V.6 TOMA DOMICILIARIA TÍPICA



V.2.1.2 TUBERIA DE CLORURO DE POLIVINILO

El primer tipo de tubería que se muestra es el tubo de cloruro de polivinilo (PVC) código AWWA C-900 (Ver Anexo D “Principales Códigos y Estándares Nacionales e Internacionales de Fabricación e Instalación de Tuberías”) clases 100, 150 y 200, que se fabrica en tramos de 6.10 m de longitud con diámetros que van desde 121.9 a 335.3 milímetros, ver Tabla V.4 “Dimensiones y Pesos de Tubo PVC”.

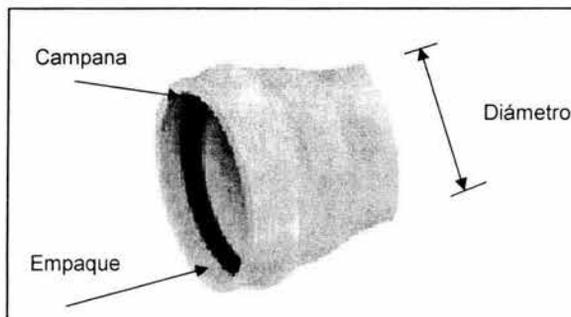
TABLA V.4 DIMENSIONES Y PESOS DE TUBO DE CLORURO DE POLIVINILO

DIÁMETRO NOMINAL (Pulgadas y milímetros)	DIÁMETRO		ESPESOR PARED	LONGITUD CAMPANA	PESO APROXIMADO (kg/m)
	EXTERIOR	INTERIOR			
mm					
CLASE 100					
4" ó 101.6 mm	121.9	111.5	4.9	120.7	2.82
6" ó 152.4 mm	175.3	160.0	7.0	139.7	5.79
8" ó 203.2 mm	229.9	210.3	9.2	158.8	9.96
10" ó 254 mm	281.9	258.1	11.3	177.8	15.01
12" ó 304.8 mm	335.3	306.8	13.4	198.1	21.4
CLASE 150					
4" ó 101.6 mm	121.9	107.4	6.8	120.7	3.86
6" ó 152.4 mm	175.3	154.7	9.7	139.7	7.87
8" ó 203.2 mm	229.9	202.7	12.8	158.8	13.67
10" ó 254 mm	281.9	248.7	15.7	177.8	20.65
12" ó 304.8 mm	335.3	295.9	18.6	198.1	29.27
CLASE 200					
4" ó 101.6 mm	121.9	103.4	8.7	120.7	4.75
6" ó 152.4 mm	175.3	148.8	12.5	139.7	9.96
8" ó 203.2 mm	229.9	195.1	16.4	158.8	17.24
10" ó 254 mm	281.9	239.3	20.1	177.8	26.15
12" ó 304.8 mm	335.3	284.5	24.0	198.1	37.29

Fuente: http://www.aiqsa.com/productos/comercial/valvulas/pvc/tubo_pvc.htm#inicio

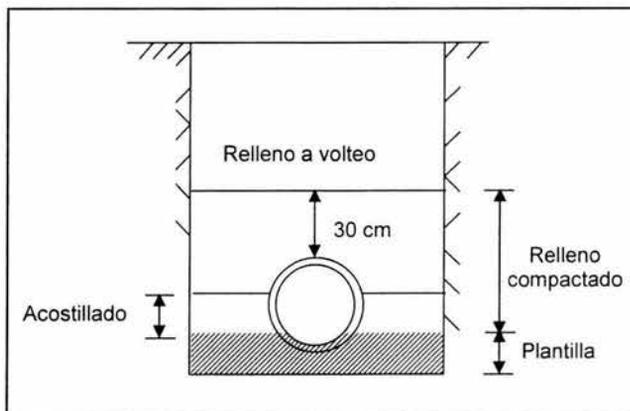
En la Figura V.7 “Campana y empaque de tubo”. Se muestra detalle de uno de los extremos.

FIGURA V.7 CAMPANA Y EMPAQUE DE TUBO



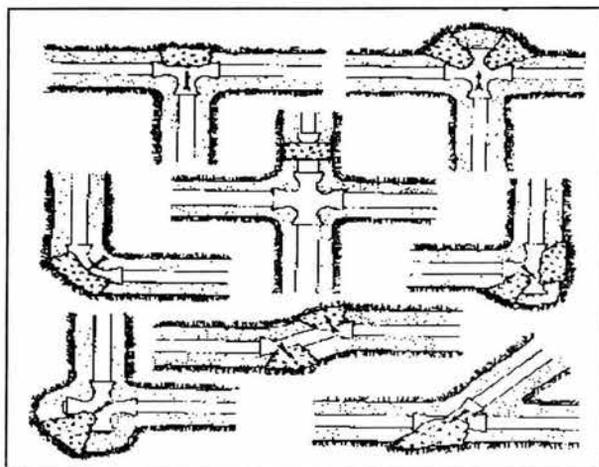
La Figura V.8 “Tipos de rellenos en excavaciones” muestra un corte vertical de una zanja donde generalmente se localiza la ubicación relativa del relleno, acostillado y la cama respecto al tubo de la red agua.

FIGURA V.8 TIPOS DE RELLENOS EN EXCAVACIONES



En la tubería de la red de distribución de agua potable se puede encontrar varios elementos cuando hay cambios de dirección, accesorios o válvulas así como sus atraques que son conglomerados de concreto para soportar los elementos de la red y van colocados entre la tubería y partes firmes del suelo, en la Figura V.9 “Atraques horizontales” muestra la colocación de los atraques.

FIGURA V.9 ATRAQUES HORIZONTALES



Los atraques también se pueden encontrar en válvulas y cambios verticales de dirección como se muestran en la Figura V.10 “Anclajes en válvula” que es un corte vertical de un atraque de concreto con anclajes metálicos para evitar vibraciones en una válvula de compuerta al circular el agua dentro de la tubería y Figura V.11 “Anclaje en codo vertical” que es un corte vertical de atraque de concreto con anclajes metálicos para evitar vibraciones en el codo de 45 grados al desplazarse el agua dentro del tubo.

FIGURA V.10 ANCLAJES EN VÁLVULA

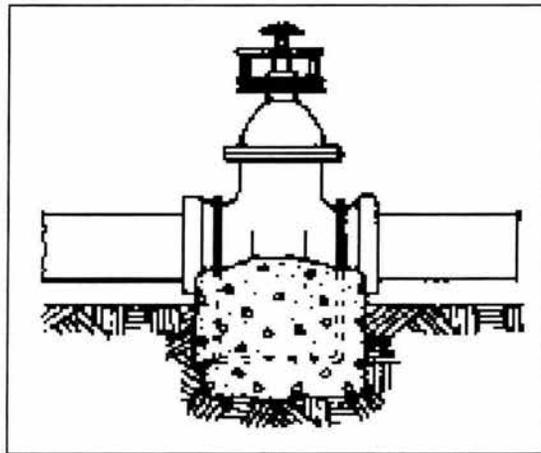


FIGURA V.11 ANCLAJE EN CODO VERTICAL

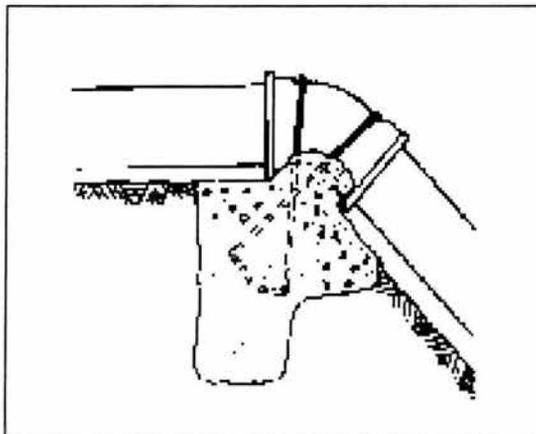
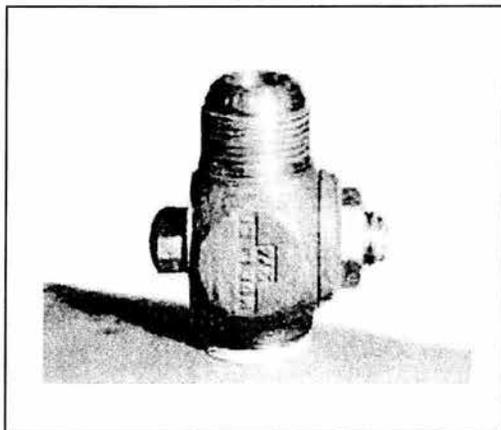


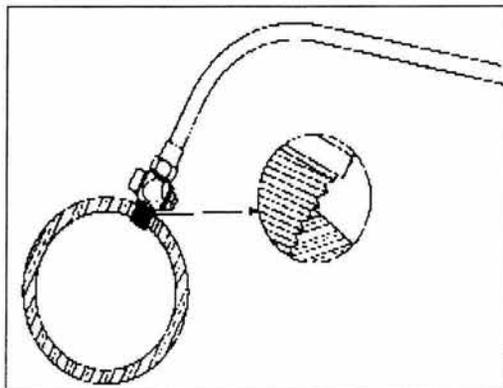
FIGURA V.12 BANDA DE TEFLÓN EN VÁLVULA DE INSERCIÓN



En la figura V.12 “Banda de teflón en válvula de inserción” se muestra la válvula de inserción unida al tubo de la red municipal, se puede notar que a la rosca insertada se le añadió una cinta de teflón, este sirve para evitar goteos de agua entre los elementos unidos.

Después de colocar la válvula de inserción se instala el tubo para la toma domiciliaria como se muestra en la Figura V.13 “Detalle de conexión de válvula de inserción” Se muestran los tres elementos el tubo de la red unido a la válvula de inserción conectada al tubo de la toma domiciliaria.

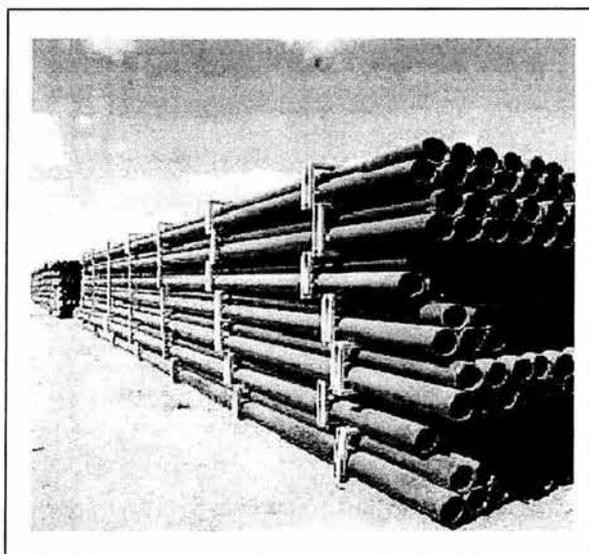
**FIGURA V.13 DETALLE DE CONEXIÓN
DE VÁLVULA DE INSERCIÓN**



V.2.1.3 TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

Otro tipo de tubería es la de polietileno de alta densidad, este tipo de tubo plástico es importante por que es el más barato comparado hasta con la tubería AWWA C-900. En la Figura V.14 “Estiva de tubos de polietileno” se puede ver el almacenaje de tubos de de polietileno.

FIGURA V.14 ESTIVA DE TUBOS DE POLIETILENO



Las resinas sintéticas se empezaron a industrializar durante la última gran guerra, hoy día se puede disponer de unos 60 materiales, algunos de ellos en distintas presentaciones o tipos, del nylon por ejemplo, hay un tipo para hacer películas y otro para moldear engranes.

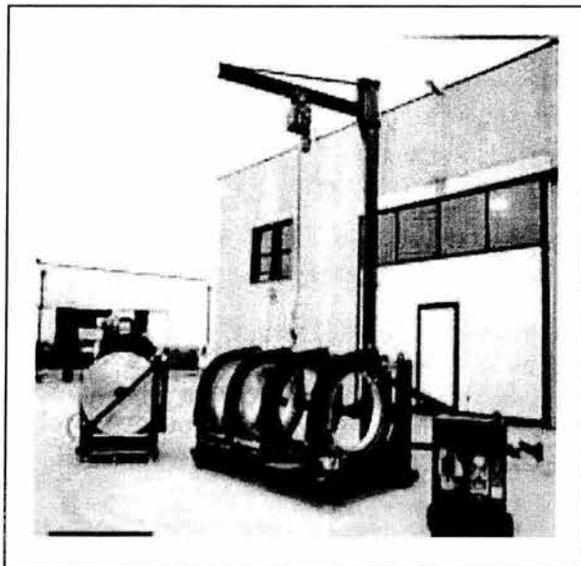
Esto multiplica las opciones de los materiales plásticos disponibles hoy día. De esta gama anterior se pueden separar cuatro resinas que se han dado en llamar “comodities” por ser de mercado masivo, fácil procesabilidad, y por tanto, de altos volúmenes de producción, precio bajo y tecnología accesible. Los tipos de resinas sintéticas se muestran en la Tabla V.5 “Tipos de resinas sintéticas”.

TABLA V.5 TIPOS DE RESINAS SINTÉTICAS

RESINA	ABREVIATURA
1) El polietileno en sus variantes.	PE
a) Baja densidad, el más común.	LDPE
b) Lineal de baja densidad de excelente resistencia mecánica.	LLDPE
c) Alta densidad, muy usado en la fabricación de cuerpos huecos.	HDPE
d) Ultra alto peso molecular, considerado fuera de este grupo como plástico de ingeniería.	UHMWPE
2) El cloruro de polivinilo en sus formas rígida y flexible o plastificado.	PVC
3) El poliestireno.	PS
4) El polipropileno para película y para placa y cuerpos rígidos.	PP

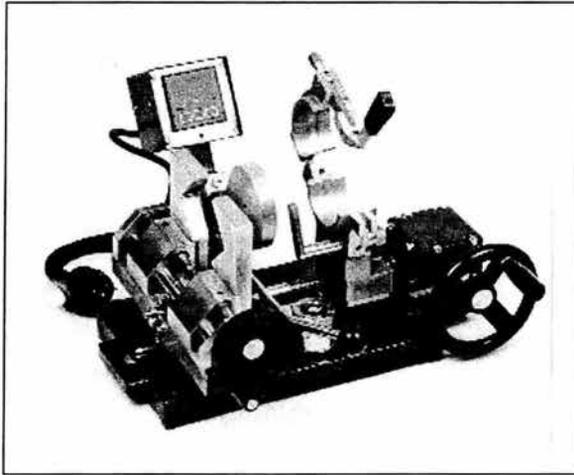
Este tipo de tubería se une por medio de termofusión, los aparatos para unir tubos y piezas se muestran en la Figura V.15 “Termofusor de 1000 mm de diámetro” Sirve para unir dos tubos de polietileno de un metro de diámetro.

FIGURAS V.15 TERMOFUSOR DE 1000 mm DE DIÁMETRO



Un aparato de menores dimensiones es el mostrado en la Figura V.16 "Termofusor de 50 mm de diámetro" sirve para unir tubos de polietileno de 5 cm (2") de diámetro.

FIGURA V.16 TERMOFUSOR DE 50 MM DE DIÁMETRO



El proceso de termofusión consiste en:

- 1) Colocar dentro del anillo metálico los dos tubos que se desean unir.
- 2) Mediante calor de una resistencia eléctrica se calienta el anillo que hace que se fundan los extremos de los tubos.
- 3) Se espera que se enfríe el anillo y se obtienen los elementos de polietileno unidos.

A continuación se ofrece una línea completa de tubos o High Density PolyEthylene, conexiones y accesorios, Los sistemas incluyen lo siguiente:

- Tubos y conexiones en varios tamaños y clasificaciones de presión del diseño.
- Fabricación de componentes especiales según necesidad del cliente.

VENTAJAS. Comparados con los materiales de tubería tradicionales como lo de acero, los sistemas de tubería polietileno pueden ofrecer las siguientes ventajas como ahorros en instalación, mano de obra y equipo. La tubería de polietileno es

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

competitiva, considerando el potencial que tiene de reducir costos de mantenimiento y dar una larga vida de servicio en diversas aplicaciones.

APLICACIÓN. Las aplicaciones típicas incluyen: químicos, soluciones ácidas y cáusticas, desechos corrosivos, aguas negras, drenaje, desechos de minas, lodos, agua potable y tratada, agua salada, entre otros. Se elabora productos de acuerdo a los requerimientos de Comisión Nacional del Agua (CNA), Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y de la Asociación Americana de Trabajos del Agua cuyas siglas en inglés son (AWWA) American Water Works Association, para su uso en sistemas de agua potable.

TUBERIA. Se produce tubos de polietileno de media y alta densidad en tamaños que van desde 13 mm ($\frac{1}{2}$) pulgada hasta 1370 mm (54 pulgadas).

CONEXIONES. Las conexiones moldeadas están disponibles en tamaños desde 13 mm ($\frac{1}{2}$ pulgada) hasta 301mm (12 pulgadas). Las conexiones fabricadas de tubos están disponibles en distintos rangos de presión en medidas desde 13 mm ($\frac{1}{2}$ pulgada) hasta 1370 mm (54 pulgadas).

CARACTERÍSTICAS DE LA TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

RESISTENCIAS A LA ABRASION. En las pruebas, la tubería de Polietileno de alta densidad fue comparada con tuberías de acero de grados X-52. Ambos sistemas de tubería fueron probados comparados utilizando una suspensión de mineral de hierro. La magnetita tenía una gravedad específica de cinco (cinco veces el peso del agua) y el tamaño de una partícula gruesa.

Con una velocidad de la suspensión de 4 metros por segundo, el sistema superó al sistema de tubería de acero X-52 por 4 a 1. Con una velocidad de 5 metros por segundo, el ratio de desempeño fue 3 a 1. Estas pruebas, bajo condiciones controladas, demuestran que la tubería de polietileno es superior al acero en las aplicaciones de manejo de sólidos en suspensión. Los productos de polietileno han demostrado un excelente desempeño en el manejo de desechos de minas, cenizas volátiles, fango, lodos y rocas de dragado y otros materiales abrasivos.

RESISTENCIA QUÍMICA. La tubería de polietileno de alta densidad es adecuada para manejar diversas soluciones químicas. Los químicos que se encuentran naturalmente en la tierra no degradarán la tubería. No es un conductor eléctrico y no se pudre, enmohece y corroe por acción electrolítica. No favorece el crecimiento de algas, bacterias u hongos y es resistente al ataque biológico marino. Los hidrocarburos líquidos permearán a través de la pared y reducirán la resistencia hidrostática. Cuando el hidrocarburo se evapora, la tubería recupera sus propiedades físicas originales. Algunos químicos afectarán la tubería de polietileno. El ataque químico puede estar acompañado por cualquier combinación de los siguientes efectos: dilatación, decoración, fragilidad o pérdida de resistencia. Se realizaron pruebas de laboratorio utilizando especímenes sin tensión bajo condiciones estáticas. Las clasificaciones mostradas están basadas primeramente en un ataque químico, dilatación con solvente y cambios en las propiedades físicas.

FLEXIBILIDAD. La flexibilidad del tubo de polietileno le permite ser curvado sobre, debajo y alrededor de obstáculos así como también hacer elevaciones y cambios direccionales. En algunos casos la flexibilidad del tubo puede eliminar la necesidad de conexiones y reducir los costos de la instalación. La tubería de polietileno de alta densidad puede ser doblada a radios mínimos entre 20 y 40 veces el diámetro del tubo.

FACTORES DE FLUJO. La tubería de polietileno tiene una superficie interior lisa. Se recomienda un factor "C" de 150 en la fórmula Hazen Williams. La tubería de polietileno tiene un valor recomendado Manning "n" de 0.009. Las paredes lisas y las características de no humedad (las paredes repelen el agua) de polietileno permiten una capacidad mayor de flujo y una pérdida de fricción reducida con la tubería de polietileno.

EXPECTATIVA DE VIDA. Las bases del diseño hidrostático para la tubería de polietileno de alta densidad están basadas en extensos datos de pruebas hidrostáticas evaluadas por métodos industriales estandarizados. Las curvas de

regresión, proyectan una expectativa de vida de aproximadamente 50 años para el transporte de agua a 23 grados centígrados (73.4° F). Las condiciones ambientales internas y externas pueden alterar la vida esperada o cambiar las bases de diseño recomendadas para una ampliación determinada.

CLASIFICACIONES DE PRESIÓN. Se fabrican tubos de polietileno para flujo de gravedad. Algunas aplicaciones o códigos de diseño requieren que la tubería sea recalculada, dando como resultado reducciones en la clasificación de presión de la misma. Las fórmulas utilizadas para diseñar los sistemas de tubería de polietileno incluyen un factor de seguridad 2:1 en resistencia hidrostática y un factor de seguridad mayor a 2:1 en fatiga.

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS. El polietileno es un material termoplástico. Algunos cambios en las propiedades físicas y químicas ocurren cuando la temperatura del sistema se incrementa o decrece. Por ejemplo, la tubería se expandirá o contraerá cuando es calentada o enfriada. La temperatura debe ser considerada cuando se diseña un sistema de polietileno. Las características de los tubos de polietileno son establecidos a temperatura ambiente 23° C, (73.4°F). Conforme aumenta la temperatura, la resistencia a largo plazo decrece y viceversa. La temperatura de operación máxima recomendada para los productos de polietileno es de 62°C (140° F).

RESISTENCIA. El polietileno tiene un bajo grado de sensibilidad al impacto, alta resistencia contra rajamientos y una excelente resistencia contra los rasguños o la abrasión. Su resistencia a quebrarse por el ataque ambiental del terreno es sorprendente comparado con el hierro fundido y asbesto cemento.

PROTECCION ULTRAVIOLETA. La tubería de polietileno negro, que contiene de 2 a 2.5% de negro de humo finamente molido, puede ser almacenada con seguridad en los exteriores de la mayoría de los climas por muchos años sin que sufra daños por exposición a los rayos ultravioleta. El negro del humo es el aditivo más efectivo para proteger de efectos climatológicos a los materiales plásticos. Cuando el negro de humo es utilizado no se requieren otros estabilizadores y

absorbentes de rayos ultravioleta. En colores distintos al negro los productos de polietileno pueden ser almacenados en exteriores a la luz del sol por tres o cuatro años sin que se degraden. Estos productos no son recomendados para aplicaciones sobre el suelo si la tubería va a ser expuesta a la luz del sol por más de cuatro años.

PRECAUCIONES. Los productos de polietileno han sido utilizados en miles de aplicaciones de manera segura. Aunque existen algunas precauciones que se deben tomar en cuenta como en cualquier otro producto. A continuación se presenta una lista de algunas de las precauciones que deben ser consideradas cuando se usan los productos de polietileno.

FUSION. Durante el proceso de fusión por calor el equipo alcanzará temperaturas de 375° a 500° F.

- Se deben tomar precauciones para evitar quemaduras.
- Repasar las tarjetas y las guías de calificación de fusión por calor.

PESO. A pesar de que la tubería de polietileno no es tan pesada como otras tuberías, existe un peso significativo involucrado. Se debe tener cuidado cuando se maneja o se trabaja alrededor de tubería de polietileno de alta densidad.

- Conozca el peso involucrado Repase las hojas de tamaño y dimensiones.
- Revise la hoja de "Recomendaciones de manejo y descarga".
- Repase los procedimientos de instalación de este manual.

ELECTRICIDAD ESTÁTICA. Altas cargas eléctricas estáticas pueden ser asociadas con los productos de tubería de polietileno de alta densidad. El uso inadecuado del equipo de prensado y otros procedimientos en presencia de gases inflamables o explosivos pueden ser extremadamente peligroso.

- Repase las guías de instalación de este manual.
- Repase los folletos de productos

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

DESCARGA. Asegurarse de estar utilizando el equipo adecuado cuando se descarga tubería. El equipo debe ser del tamaño adecuado para manejar las cargas. Se debe revisar la condición de todas las correas.

ENTERRADO DEL TUBO. Consultar a la autoridad correspondiente sobre los requerimientos de construcción de cepas. Todas las medidas de seguridad deben ser tomadas cuando se trabaja en una cepa.

PRUEBAS. Se recomienda el uso de agua para la realización de pruebas. Se deben tomar todas las precauciones cuando se mueve una tubería durante las pruebas, ya que dentro de ésta se ha almacenado una gran cantidad de energía, que puede liberarse violentamente.

IMPACTO O GOLPES. La tubería de polietileno de alta densidad es resistente a los impactos. El golpear la tubería con un instrumento, como un martillo, puede producir un rebote peligroso del instrumento, que puede herir a la persona que golpea la tubería.

CONSIDERACION DEL PRODUCTO. Algunos productos no son recomendados para utilizarse en sistemas de tubería de polietileno de alta densidad. Consultar a su proveedor para obtener una lista de resistencia química.

ENROLLAMIENTO. La tubería de polietileno de alta densidad enrollada puede almacenar energía como un resorte. El dejarla libre sin control, por ejemplo al cortar los flejes, puede dar como resultado fuerzas no controladas y peligrosas. Se requiere tomar medidas de seguridad y utilizar el equipo adecuado.

LOCALIZACIÓN. Generalmente, los materiales de polietileno no son detectables por equipos estándar de localización magnética. Existen diversos métodos disponibles para ayudar en la detección de tuberías de polietileno. Estos incluyen cables rastreadores, cinta de identificación, marcadores de línea, sistema de marcación electrónica, rastreo acústico de tuberías y la línea de localización "llama antes de cavar". Cuando se instala un sistema de tubería de polietileno se debe tomar en consideración el método o métodos que permitirán que la línea sea

localizada en el futuro. Si se utilizan postes para señalar la localización de una tubería enterrada, se recomienda que las señales indiquen que la línea enterrada es de polietileno. Esto alerta al personal de localización de que la tubería puede no ser identificada por equipos de localización estándar. Las compañías de gas siempre deben ser contactadas antes de realizar cualquier excavación o cepa. Contactar a las compañías correspondientes.

IDENTIFICACIÓN Y DESIGNACIÓN ESTANDAR DE MATERIALES

Por muchos años los materiales de tubería de polietileno han sido identificadas utilizando el código establecido en Estándar de American Society for Testing and Materials (ASTM) o Sociedad Americana para Pruebas y Materiales D 1248, "Especificaciones Estándar para Materiales Moldeados o Extrudidos de Plástico de Polietileno", fue escrito en 1974 para permitir una mejor identificación de los materiales de tubería. Actualmente, el Estándar está incorporado al D 3350. El ASTM D 3350 de la American Society for Testing and Materials o Sociedad Americana para Pruebas y Materiales utiliza un sistema de clasificación de celda que permite una identificación más específica del compuesto al usar límites de clasificación de celda por densidad, índice de fusión, módulos de flexión, resistencia a la tracción, resistencia al rompimiento por ataque ambiental y bases de diseño hidrostático. El ASTM D 3350 de la American Society for Testing and Materials (ASTM) o Sociedad Americana para Pruebas y Materiales también clasifica la resina de polietileno de acuerdo al grado. El grado, como se define en el ASTM D 3350, es un código para los materiales de conexiones y tuberías de polietileno que consiste de dos letras que indican el tipo de termoplástico, seguidas de dos números que designan la densidad y la celda.

UNION DE TUBERIA DE POLIETILENO

FUSION POR CALOR. La tubería de polietileno se une por fusión a tope, fusión con caja o electrofusión. La soldadura de extrusión ha sido utilizada con cierto éxito para fabricar componentes estructurales sin presión. Está última no se recomienda para unir tuberías que serán usadas en sistemas presurizados.

UNIÓN MECÁNICA. Los tubos de polietileno de alta densidad pueden ser conectados mecánicamente. Se encuentran disponibles como medios de unión de tubería los adaptadores tipo brida con contrabrida de acero o hierro dúctil, los adaptadores de unión mecánica, las juntas de compresión y otros. Cada uno tiene su propio grupo de ventajas y limitaciones. El usuario debe estar al tanto de estas limitaciones.

Los adaptadores tipo brida con contrabridas metálicas están disponibles en varios tamaños. Generalmente no se requiere un empaque para unir un adaptador a otro. Aunque los adaptadores para alta presión y de gran diámetro puede requerirlo. Se recomienda utilizar empaques en la transición de adaptadores de polietileno a otros materiales (acero, hierro, dúctil, etc.). Se debe aplicar suficiente fuerza de torsión a los tornillos para prevenir escurrimientos. Se recomienda volver a apretar los pernos después de pasado un tiempo de hacer la conexión (generalmente unas cuantas horas). Las juntas de tipo compresión con refuerzos internos están disponibles en algunos tamaños y son generalmente satisfactorias cuando los cambios de temperaturas dentro del sistema son pequeños. Cuando se utilizan juntas de compresión para unir tubería se debe tomar en cuenta la tendencia de los tubos a separarse de la junta. La tubería debe ser anclada si la carga de tensión esperada en ella excede la capacidad de la junta.

La unión mecánica con abrazaderas de perno o envolventes no es muy recomendada como un método a largo plazo o permanente para unir tuberías de polietileno a menos que la conexión sea estabilizada de alguna manera. Debido a la magnitud de la expansión y contracción térmica de los materiales de polietileno y sus características de flujo bajo carga, puede ser difícil mantener un sello a prueba de permanente con ciertas abrazaderas mecánicas envolventes. Estas han sido utilizadas exitosamente en aplicaciones de baja presión o no críticas cuando no es factible fusionar o unir con adaptadores tipo brida las secciones. Los envolventes de polietileno que se encogen con el calor también han sido utilizados para aplicaciones sin presión y así lograr un sello efectivo, pero también están

sujetos a tensión de separación originada por la contracción térmica de la tubería y la presión interna.

ROSCADO Y PEGADO. El método de unión por rosca no es recomendado para unir productos de polietileno de alta densidad. Los adhesivos o cementos solventes no unen polietileno. No existe un cemento o pegamento adecuado para unir productos de polietileno de alta densidad.

CONSIDERACIONES DE DISEÑO. Son diversas las industrias que utilizan los tubos de polietileno de alta densidad. Las aplicaciones dentro de cada industria son extensas. Algunas son claras y sencillas. Otras son complejas y pueden requerir algunas consideraciones más allá del alcance de este manual. El correcto diseño del sistema debe tomar en consideración los siguientes criterios: entierro de la tubería, propiedades del fluido, condiciones de operación, rango de temperatura, instalación y también las contingencias específicas para cada diseño.

TENDIDO DE TUBERIA. Las pruebas realizadas a las tuberías de polietileno de alta densidad en la Universidad Estatal de Utha, en los Estados Unidos de América, por el Dr. Reynold K. Watkins, muestran que los tubos no se deforman bajo condiciones ordinarias si la tierra que las envuelve está propiamente compactada y está en completo contacto con la tubería. Se debe considerar una compactación del 85% de densidad de la prueba Proctor según la Asociación Americana Estatal Oficial de Tráfico Vehicular cuyas siglas en inglés son AASHTO como mínimo conservador. Se debe utilizar el ASTM D 2321 de la American Society for Testing and Materials (ASTM) o Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, "Práctica estándar recomendada para instalación subterránea de tuberías de albañal termoplástica flexibles", como guía para determinar el método de colocación y compactación de relleno.

COMPATIBILIDAD QUIMICA. La tubería de polietileno de alta densidad de polietileno de alta densidad no reacciona con la mayoría de los productos. Existen algunos químicos fuertes que la afectan. Es de utilidad tener en mente los siguientes tres factores:

- 1) La resistencia química de los productos de polietileno de alta densidad está relacionada al químico mismo, Su temperatura de operación y su concentración.
- 2) Los agentes oxidantes fuertes como el ácido nítrico, ácido sulfúrico, cloro gaseoso y el Bromo líquido son los más agresivos y merecen una consideración especial.
- 3) La permeabilidad por la pared de la tubería es insignificante para la mayoría de los líquidos.

SIETEMAS PRESURIZADOS. Como son muy pocas las tuberías que operan a una presión estable, el ingeniero debe determinar con precisión la presión de operación para el diseño del sistema. Generalmente ésta es la más alta presión a la cual se espera que opere el sistema. Se gana un factor de seguridad adicional cuando el sistema está operando a presiones más bajas. Adicionalmente, el ingeniero debe reconocer la interdependencia de la presión de operación y la temperatura de operación.

REQUERIMIENTOS DE FLUJO. La tubería de polietileno tiene una pared lisa. Comparado con el acero o el concreto, un diámetro más pequeño de la tubería de polietileno frecuentemente puede transportar la misma cantidad de fluido a la misma presión que la tubería de concreto o de acero. Esto hace del polietileno una opción ideal para recubrir interiormente tubos de concreto mientras se mantienen las capacidades de flujo.

VARIACIONES DE PRESIÓN (Golpe de ariete). Cuando el flujo en un sistema es detenido súbitamente, puede ocurrir un cambio de presión brusco como al serrar una válvula rápidamente. La tubería de polietileno de alta densidad puede absorber estos cambios de presiones significativos. Además, los cambios de presión en los sistemas, se deben examinar las limitaciones de esta área.

VACIO. Sistemas de vacío que utilizan tubería de polietileno de alta densidad han funcionado exitosamente por muchos años. Debido a los movimientos plásticos a largo plazo del polietileno, se debe utilizar el recubrimiento apropiado. En las

líneas de gravedad a flujo total se puede desarrollar una condición de sifón o vacío cuando ocurren cambios repentinos en la elevación. Cuando se espera un vacío, los sistemas polietileno de alta densidad deben ser calculados para prevenir el colapso de la tubería. En situaciones de flujo de gravedad, el vacío puede ser "roto" por una válvula rompedora de vacío.

RANGO DE TEMPERATURA. La temperatura del fluido que está siendo transportado tiene un efecto sobre la capacidad de servicio de la tubería polietileno de alta densidad. Como sucede con todas las tuberías termoplásticas, la tubería de polietileno pierde rigidez y resistencia a la tensión conforme aumenta la temperatura. Cuando la temperatura se incrementa, la presión de operación normal de la tubería debe ser recalculada. Para mantener la misma presión a temperaturas más elevadas se puede especificar una tubería de pared más gruesa. Conforme la temperatura decrece los productos de polietileno ganan resistencia. Los tubos pueden ser diseñados para contener una presión a 23°C (73.4° F), teniendo en cuenta que se obtendrá un factor de seguridad mucho mayor a menores temperaturas, que la mencionada. Generalmente, la tubería de polietileno mantiene su flexibilidad e integridad a 82°C (-180°F). Los márgenes de expansión y contracción térmicas deben ser diseñados en cualquier instalación basada en el fluido o en la temperatura ambiental.

CARGAS EN TUBERIAS COLGANTES O SUSPENDIDAS. Se deben tener los soportes a una distancia frecuente para minimizar la deflexión por el peso de la tubería y su contenido. Los soportes también pueden ser utilizados para controlar o restringir movimientos derivados de la expansión y la contracción térmica.

CARGAS EN TUBERIAS EXPUESTAS, SOBRE EL SUELO. Las tuberías que descansan sobre el suelo están expuestas a numerosos peligros. Del día a la noche y de estación a estación, la tubería se expandirá y se contraerá en forma natural. Los movimientos deben ser controlados por medios como: anclaje, serpenteo o haciendo cepas poco profundas. Durante las temperaturas de verano, típicamente la tubería se calienta. Esto hará decrecer el rango de presión de la

tubería. Cuando la temperatura de invierno decrece, el factor de seguridad de la presión de la tubería se incrementa.

CARGAS EN TUBERIAS ENTERRADAS, SUBTERRÁNEAS. Las instalaciones enterradas deben considerar las cargas de la tierra y las cargas externas como el tráfico, estructuras cercanas y cargas hidrostáticas potenciales. Se debe considerar el control de la expansión térmica si se espera que ocurran cambios en la temperatura del sistema.

CARGAS EN TUBERIAS ENTERRADAS, EN PANTANOS. Las instalaciones pantanosas no sólo implican aquéllas áreas llenas de musgo y maleza. También incluyen áreas donde el suelo puede hacerse líquido o semilíquido. Bajo tales condiciones, la tubería puede ser fácilmente desplazada en el suelo. Se puede poner un contrapeso la tubería de polietileno para proveer una flotabilidad "neutral" en la mayoría de las condiciones. Se deben considerar las combinaciones de cargas de tierra, cargas de agua, flotabilidad y soporte del suelo.

CARGAS EN TUBERIAS EXPUESTAS, SOBRE LA SUPERFICIE DEL AGUA.

La tubería polietileno de alta densidad flotará sobre la superficie del agua aunque esté llena de agua. Para una tubería flotante se debe considerar situaciones como las fuerzas del viento y la acción de las olas. También son un peligro los posibles daños causados por barcos o restos flotantes. Se debe considerar una flotación adicional cuando la tubería es utilizada para procesar fluidos que pueden variar en densidad por ejemplo: líneas de dragado.

CARGAS VIVAS DE TRÁFICO. Las operaciones de tráfico sobre o cerca de una tubería enterrada causan que la tierra se mueva un poco bajo su peso. Esto ocasiona una transferencia dinámica de carga del vehículo al suelo. Mientras más pesado sea el vehículo, más grande es la transferencia de carga. Para distribuir y reducir la carga en la tubería, ésta puede ser enterrada a mayor profundidad y/o localizada a mayor distancia del tráfico. La tensión en la tubería también puede ser reducida, incrementando la compactación del suelo (densidad). El diseñador del

sistema debe revisar tipos de peso de tráfico, factores de compactación del suelo y la tensión asociada.

COMBUSTIBLES DE HIDROCARBUROS. Cuando se utiliza una tubería de polietileno de alta densidad para transportar agua potable, ésta no debe ser enterrada directamente en suelo contaminado por combustibles de hidrocarburos u otros químicos que puedan afectar al polietileno. Debe ser considerada una tubería “encamisada”, con doble tubo de polietileno. Además, el polietileno no debe ser instalado donde exista un alto riesgo de derrames de petróleo o de químicos. En estas aplicaciones ninguna tubería, ya sea de plástico o metal, puede ser considerada inmune a la contaminación por permeabilidad a través de las paredes o uniones. Si la fuente de contaminación no puede ser controlada con seguridad es mejor cambiar la ruta de toda la tubería.

DESINFECCIÓN. Para los sistemas de agua potable que utilizan cloro como desinfectante, se recomienda limitar la dosis de cloro a 25 mg/L de cloro libre con un residuo de 10 mg/L al final de un período de 24 horas. El desinfectante es limpiado con un chorro de agua según los requerimientos del estándar AWWA C 651 de la American Water Works Association (AWWA) o Asociación Americana de Trabajos Hidráulicos, para desinfectar conductos de agua. Las cantidades diarias de cloro no deben exceder 3 ppm a temperaturas mayores de 23°C (75 °F). En la dirección electrónica <http://members.tripod.com.mx/tubiplas1/> de la compañía tuberías Driscopipe se dan más detalles sobre este producto.

V.2.1.4 ETAPAS DEL PROCESO DE REPARACIÓN DE FUGAS DE AGUA

Las etapas de rehabilitación de fugas de agua se pueden dividir en, etapas preliminares y etapas directas de campo, entre las primeras están el estudio en planos de la red, informarse de la clase de tubería que se encantáremos al hacer la excavación, su ubicación, la clase de tubo, la antigüedad de la misma etcétera, en las etapas directas de campo tendremos. Cierre de válvulas en la red de agua potable para reparar la fuga, esta es necesaria ya que sería más difícil reparar la

fuga de agua cuando se esta tirando el liquido. Al mismo tiempo se pueden estar colocación de señales en el área de reparación en el área donde se hará la excavación para evitar accidentes.

Después de las dos etapas previas se continúa con la excavación y extracción del agua del área afectada. Una vez que se ha excavado suficientemente y se ha encontrado la falla sobre la tubería de distribución de agua potable se procede a la reparación de las misma, ya sea colocando parte de la pieza dañada o soldando la misma. Después de haber reparado la tubería, se abre la válvula y se espera un tiempo razonable (no menos de 30 minutos) para verificar que no haya fuga de agua. A continuación se rellenar y compactar la excavación y se continua con la pavimentación de la zona excavada y por último se retiran los escombros, se limpia, y se retiran los señalamientos de reparación.

V.3. ANALISIS DE COSTOS

En los inicios de la construcción, el éxito de un ingeniero frecuentemente dependía de la habilidad de manejar, guiado únicamente por su intuición y sus experiencias personales, elemento humano y equipo, y en función de ejecutar la obra en el menor tiempo y al más bajo costo. Hoy en día este sistema ha sido reemplazado casi en su totalidad por la planificación minuciosa de cada paso de la obra antes de que ésta se inicie, escogiendo el equipo idóneo para un proyecto definido, previo análisis exhaustivo del mismo, determinando así los mejores métodos de construcción para su correcta ejecución, manteniendo controles adecuados mediante periódicos reportes de avance de obra, costos y cualquier otra información.

Dentro de los múltiples problemas que se presentan en el ramo de la construcción, el establecimiento de los precios unitarios equitativos a que debe pagarse un trabajo, ha sido tradicionalmente un punto de divergencia de opiniones entre las empresas contratistas y los órganos oficiales o particulares encargados de la realización de obras, lo que ha constituido en motivos de discusiones, pérdidas de tiempo y entorpecimiento del desarrollo de las obras, creado en muchos casos fricciones entre el personal encargado de los trabajos.

Si con anticipación se establecen en forma perfecta definida las especificaciones, normas y criterios generales que servirían de base para el cálculo de los precios unitarios, los puntos de divergencia se reducirían al mínimo. La elaboración de los precios unitarios, no es más que una etapa dentro del proceso constructivo general, que se inicia con la investigación o estudio de la factibilidad de realizar una obra y que termina con la construcción de la misma.

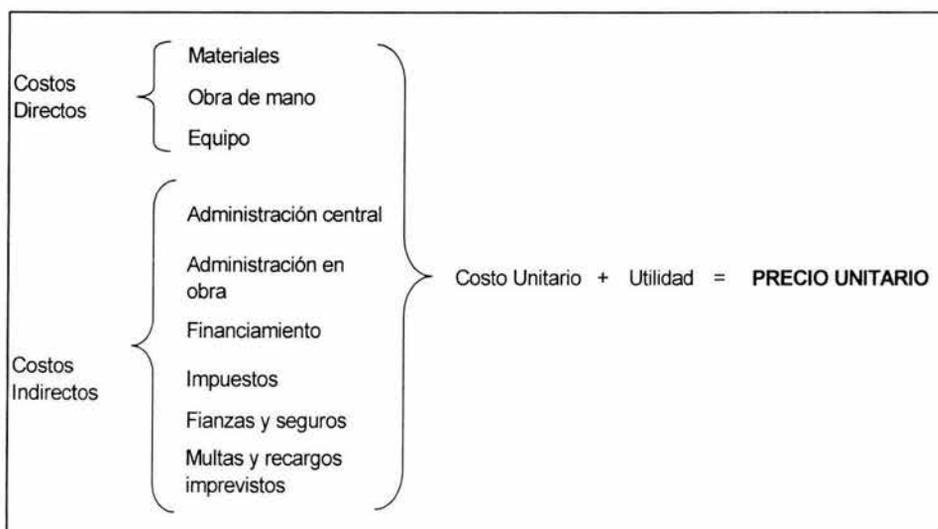
No es posible calcular precios unitarios sin apoyo en especificaciones, ya que son éstas precisamente las que definen la obra que se requiere y la forma en que debe ejecutarse, lo que indudablemente constituye la base para determinar los precios unitarios de los conceptos de obra.

Previo a la elaboración de estos precios unitarios, es absolutamente indispensable, conocer a fondo los recursos tanto humanos, como de maquinaria y material, así como la disponibilidad de los mismos.

V.3.1 INTEGRACIÓN DEL PRECIO UNITARIO

En términos generales, los elementos que componen un precio unitario se muestran en la Figura V.16 "Elementos que integran el precio unitario".

FIGURA V.16 ELEMENTOS QUE COMPONEN EL PRECIO UNITARIO



DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

El análisis de costos en el caso de fugas de agua en una red de agua potable se calcula el precio unitario ya sea para la rehabilitación completa de una red de abastecimiento o por cada fuga separada. Sintetizando el precio unitario (PU) se define como el costo unitario más utilidad como se indicó en la Figura V.16 "Elementos que componen el precio unitario":

$$\text{PU} = \text{CU} + \text{U}$$

Donde:

PU = Precio unitario

CU = Costo unitario

U = Utilidad

El precio unitario (PU) se refiere al precio por una obra o por un proceso o parte de la obra, así se puede determinar cual es el precio unitario por reparar una fuga de agua, como el precio unitario de la excavación de la reparación de la fuga de agua.

En general el Costo Unitario (CU) se calcula como la suma de los costos directos más los costos indirectos mostrados en la Figura V.16 "Elementos que componen el precio unitario".

$$\text{CU} = \text{CD} + \text{CI}$$

Donde:

CD = Costo Directo.

CI = Costo Indirecto

El Costo Directo son aquellos gastos que tiene aplicación a un producto determinado, en este caso a la rehabilitación de las fugas de agua en una red de distribución de agua potable. Están integrados por:

- **Material.** Es requisito indispensable del Ingeniero constructor el conocer ampliamente los materiales en todos sus aspectos. Este conocimiento le será de enorme utilidad para seleccionar los materiales óptimos, adecuados para las condiciones de trabajo, para sus condiciones de servicios (calidad) y para sus limitaciones económicas.

- Mano de obra. Interviene en la determinación del precio unitario, dentro de los costos directos con dos aspectos, salario y rendimiento. El salario se determina en base al tipo de trabajo realizado, a las condiciones de su realización y a la capacidad y preparación del trabajador. El rendimiento es la unidad de obra entre la cantidad de tiempo que se necesita para hacer dicha unidad de trabajo.
- Equipo. Una obra cualquiera podrá ser ejecutada mediante diversos procedimientos de construcción y empleando diferentes equipos. Empero, lógicamente, para ejecutar el trabajo siempre existirá algún procedimiento y determinado equipo por medio de los cuales las operaciones del contratista serán realizadas en forma óptima desde el punto de vista de la economía y de la eficiencia de los trabajos.

Y el Costo Indirecto se define por la suma de los gastos técnico-administrativos necesarios para la correcta realización de cualquier proceso productivo y están integrados por:

- | | |
|---------------------------------------|---------------|
| • Administración central, | entre 5 y 20% |
| • Administración de obra, | entre 3 y 10% |
| • Financiamiento, | entre 1 y 6% |
| • Impuestos, | entre 5 y 20% |
| • Fianzas, seguros, multas y recargos | entre 1 y 5% |
| • Imprevistos. | entre 1 y 3% |

Estos porcentajes solo sirven como guías para la formulación del presupuesto, cuando la obra se ejecuta hay que determinar estos porcentajes.

A continuación se expone un problema práctico. Se trata de calcular el precio unitario de la reparación de una fuga de agua potable en un tubo de de 10 mm de diámetro (4 pulgadas) de polietileno, precisamente la fuga se encuentra localizada en el quiebre de aproximadamente 45 grados que indebidamente se soldó por termofusión como se ve en la Figura V.18 "Tubo de polietileno con fuga de agua".

**DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS
EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE**

En la Figura V.19 "Tubería reparada" se puede ver la colocación de un codo de 100 mm (4") de diámetro, en la reparación de la fuga de agua se insertó un codo de 45 grados metálico y se unió al tubo con bridas metálicas. Se notan las uniones a tope por termofusión entre el tubo y los casquillos de polietileno, también se nota un defecto en la unión superior, hay un ligero quiebre.

FIGURA V.18 TUBO DE POLIETILENO CON FUGA DE AGUA

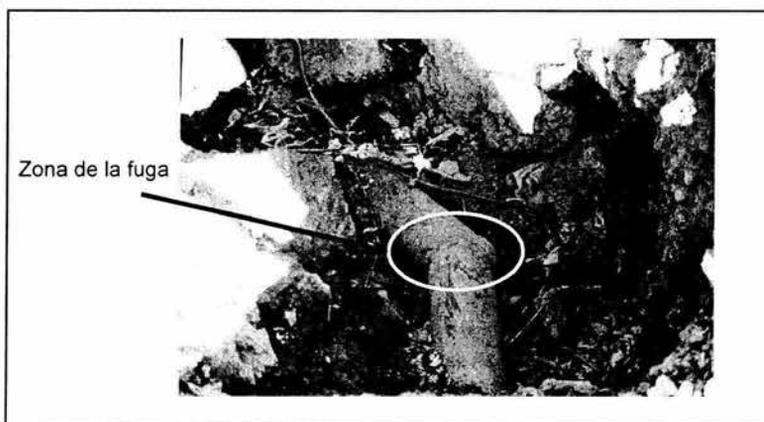
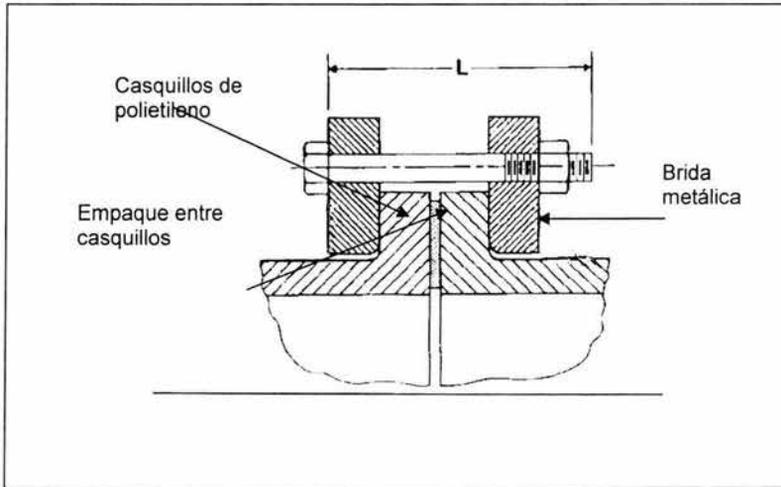


FIGURA V.19 TUBERÍA REPARADA



En la Figura V.20 “Corte de la unión brida y tubo” es un detalle de cómo se une el codo de acero con los tubos de polietileno, esto se logra uniendo por termofusión dos casquillos de polietileno a los tubos para que se puedan atornillar las bridas metálicas.

FIGURA V.20 CORTE DE LA UNIÓN BRIDA Y TUBO



La reparación consiste en:

- Cierre de válvulas en la red de agua potable para reparar la fuga.
- Colocación de señales en el área de reparación.
- Excavación y achique.
- Soldar por termofusión dos casquillos de polietileno a ambos lados de la tubería.
- Colocación de un codo de 45 grados de acero y atornillar a las bridas.
- Esperar a que abran la válvula y observar si no hay fugas de agua.
- Rellenar y compactar la excavación.
- Pavimentar la zona excavada.
- Retirar los escombros sobrantes.
- Retirar las señales de reparación.

V.3.2 EQUIPO PARA LA REHABILITACIÓN DE FUGAS DE AGUA

El equipo y herramienta para la reparación es:

- Bomba para agua.
- Vehículo automotor.
- Equipo de termofusión.

Las bombas de agua son máquinas montadas sobre ruedas neumáticas o sobre una base metálica, y están acopladas al motores de gasolina, diesel o eléctricos. El cuerpo de la bomba es una caja rígida que sirve de soporte al mecanismo de bombeo y como tanque de almacenamiento para el surtidor de agua.

Son máquinas que operan arrojando el agua que entra a través de una manguera por medio de aspas que giran rápidamente, elevan el agua u otro líquido y le dan impulso en una dirección determinada.

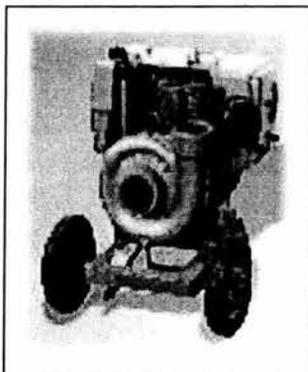
Todos los tipos de bomba para agua que se utilizan en construcción pueden clasificarse en tres grupos:

- Bombas centrífugas. Gira una paleta de varios brazos, en su movimiento y hace subir por una conducción y expulsa por otra tubería las aguas.
- Bombas autocebantes. Son bombas centrífugas, pero de cebado automático (expulsa el aire que contiene el tubo de aspiración o manguera).
- Bombas impelentes o de pistón. Funcionan su cebador, mediante el juego alternativo de un émbolo que se mueve en el interior de un cilindro.

En la construcción de terracerías se utilizan las de tipo centrífugo para el llenado de pipas y tanques de agua. Estas bombas se clasifican por el diámetro de tubo de succión y descarga.

Por ejemplo, una bomba de 101 mm por 101 mm (4"x 4") es una bomba con diámetro de 4" (101 mm) en el tubo de succión y 4" (101 mm) de diámetro en el tubo de descarga. En la Figura V.21 "Bomba para agua con ruedas" es una máquina centrífuga de (4") 101 mm de diámetro con ruedas para trasladarse.

FIGURA V.21 BOMBA PARA AGUA CON RUEDAS



Para el cálculo del precio unitario es necesario integrar el costo horario del equipo y por el caso de las bombas de agua, se debe de determinar el rendimiento. El rendimiento de las bombas es función de la ubicación de la bomba con respecto al espejo de agua, de la altura total de bombeo y de la potencia del motor.

En la Tabla V.4 “Bomba de 101 mm con motor de 12 HP a 3600 rpm” se listan los gastos en litros por minuto en función de las alturas y la potencia del motor. En general para un mayor rendimiento debe procurarse que la altura de succión o sea la distancia vertical entre el espejo del agua y la bomba sea la mínima posible.

TABLA V.4 BOMBA DE 101 mm CON MOTOR DE 12 HP A 3600 RPM

ALTURA DE DESFOGUE SOBRE LA BOMBA DE AGUA (mm)	METROS DE LA BOMBA SOBRE EL NIVEL DEL AGUA			
	3.1	4.6	6.0	7.6
	GASTO EN LITROS/MINUTO			
7.6	2,180			
9.2	2,160	1,885	1,550	1,145
12.2	2,090	1,850	1,498	1,125
15.3	1,985	1,750	1,465	1,098
18.3	1,830	1,615	1,395	1,060
21.4	1,640	1,465	1,305	985
24.4	1,350	1,220	1,098	843
27.4	930	833	768	635

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Para calcular el rendimiento de las bombas por medio de reglas y fórmulas (por ejemplo en el libro de Costos y Tiempos en Edificación de Suárez Salazar) habrá que tomar en cuenta que por definición de potencia y donde la energía neta que se transmite a un líquido es igual a la potencia de la máquina dividida por el peso volumétrico y por el gasto que circula, es decir si:

P = es la potencia de la máquina en HP

p = es el peso volumétrico del líquido en kg/m^3

Q = es el gasto que circula en m^3/s

H = es la energía neta que se transmite al líquido por efecto de la máquina.

Con los elementos anteriores se enuncia la siguiente ecuación:

$$H = P / pQ$$

Sin embargo hasta aquí no se ha tomado en cuenta la eficiencia del equipo. Entonces tomando en cuenta la potencia nominal del equipo y su eficiencia, la fórmula queda que la energía neta transmitida al líquido es igual a 76 veces la potencia nominal de la bomba por la eficiencia de la bomba dividida por el peso volumétrico del agua y por el gasto que pasa, es decir:

$$H = 76P_n e / pQ$$

Donde:

P_n = Es la potencia nominal de la bomba en HP.

p = Es el peso volumétrico del líquido en kg/m^3

Q = Es el gasto en m^3/s

H = Es la energía neta transmitida al flujo medida en m.

e = Es la eficiencia de la bomba en %.

De la ecuación anterior se despeja P_n

$$P_n = pQH / 76 e$$

Con las fórmulas anteriores se enunciará a continuación la formulación de los costos horarios y posteriormente poder integrar el precio unitario para la rehabilitación de fugas de agua.

V.3.3 CÁLCULO DEL COSTO HORARIO

A continuación se muestra en la Tabla V.5 “Costo horario de bomba para agua” el cálculo del costo horario de la bomba para agua con motor de gasolina de 101 mm de diámetro y 12 HP.

TABLA V.5 COSTO HORARIO DE BOMBA PARA AGUA

Descripción			
Bomba para agua marca Acua, modelo 23-C, motor gasolina de 12 HP a 3600 r.p.m.		Unidad: Costo horario: Fecha: 30 de enero de 2004	\$/hora 29.90
Datos generales:			
Potencia (P): HP	12	Años de vida útil (V):	5
Motor:		Horas al año (Ha):	800
Valor de adquisición (Va):	\$ 15,232.00	Vida económica Ve = (Ha) (V):	4,000
Valor de juego de llantas (VLL):	\$ 925.00	Tasa de interés anual (i):	21%
Valor inicial (Vi = Va - VLL):	\$ 14,307.00	Prima de seguros anual (s):	3%
Porcentaje de rescate (r):	10%	Coefficiente de mantenimiento (Q):	0.8
Valor de rescate Vr = (Va) (r):	\$ 1,430.70	Número de llantas (NLL):	2
Salario de operador (So) = \$/jornada	\$ 75.25	Vida económica de llantas (Hv):	4,000
Precio de lubricante (Pl) = \$/litro	\$ 30.00	Cantidad de lubricante (a): l/h	0.12
Precio de gasolina (Pc) = \$/litro	\$ 6.10	Cantidad de combustible (c): l/h	1
Clave	Fórmula	Operaciones	Total
Cargos fijos			
Inversión:	$I = i[(Vi + Vr)/2Ha]$	$I = 0.21[(14,307 + 1,430.7)/2 \cdot 800]$	\$ 2.07
Depreciación:	$D = (Vi - Vr)/Ve$	$D = (14,307 - 1,430.7)/400$	\$ 3.22
Seguros:	$S = s[(Vi + Vr)/2Ha]$	$S = 0.03[(14,307 + 1,430.7)/2 \cdot 800]$	\$ 0.30
Mantenimiento:	$M = (Q) (D)$	$M = (0.8) (3.22)$	\$ 2.58
Otros:			0
Total de cargos fijos			\$ 8.15
Consumos			
Combustibles	$E = (r)(Pc)$	$E = (1) (6.1)$	\$ 6.10
Lubricantes	$L = (a)(Pl)$	$L = (0.12) (30)$	\$ 3.60
Total de consumos			\$ 9.70
Operación			
Operador	$O = So/H/0.75$	$Q = 72.25/8/0.75$	\$ 12.04
Total de la operación			\$ 12.04
Veintinueve pesos 90/100 M.N.		Costo horario	\$ 29.90

**DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS
EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE**

A continuación se muestra en la Tabla V.6 "Costo horario de una excavadora marca Caterpillar modelo 235-C".

**TABLA V.6 COSTO HORARIO DE UNA EXCAVADORA
MARCA CATERPILLAR MODELO 235-C**

Descripción			
Excavadora marca Caterpillar, modelo 235-C, sobre orugas motor diesel de 215 HP con capacidad de 753 litros.		Unidad:	\$/hora
		Costo horario:	451.54
		Fecha: 30 de enero de 2004	
Datos generales:			
Potencia (P): HP	215	Años de vida útil (V):	6.5
Motor:		Horas al año (Ha):	1,400
Valor de adquisición (Va):	\$ 1,101,825.00	Vida económica Ve = (Ha) (V):	9,100
Valor de juego de llantas (VLL):	-	Tasa de interés anual (i):	21%
Valor inicial (Vi = Va - VLL):	\$ 1,101,825.00	Prima de seguros anual (s):	3%
Porcentaje de rescate (r):	10%	Coefficiente de mantenimiento (Q):	0.8
Valor de rescate Vr = (Va) (r):	\$ 110,182.50	Número de llantas (NLL):	2
Salario de operador (So) = \$/jornada	\$ 253.14	Vida económica de llantas (Hv):	0
Precio de lubricante (Pl) = \$/litro	\$ 30.00	Cantidad de lubricante (a): l/h	0.5545
Precio de gasolina (Pc) = \$/litro	\$ 5.98	Cantidad de combustible (c): l/h	16
Clave	Fórmula	Operaciones	Total
Cargos fijos			
Inversión:	$I = i[(Vi + Vr)/2Ha]$	$I = 0.21[(1,101,825 + 110,182.5)/2*1400]$	\$ 90.90
Depreciación:	$D = (Vi - Vr)/Ve$	$D = (1,101,825 - 110,182.5)/9100$	\$ 108.97
Seguros:	$S = s[(Vi + Vr)/2Ha]$	$S = 0.03[(1,101,825 + 110,182.5)/2*1400]$	\$ 12.99
Mantenimiento:	$M = (Q) (D)$	$M = (0.8) (108.97)$	\$ 87.18
Otros:			
Total de cargos fijos			\$ 300.04
Consumos			
Combustibles	$E = (r)(Pc)$	$E = (1) (5.98)$	\$ 95.68
Lubricantes	$L = (a)(Pl)$	$L = (0.5545) (30)$	\$ 16.64
Total de consumos			\$ 112.32
Operación			
Operador	$O = So/H/0.75$	$Q = 235.14/8/0.75$	\$ 39.19
Total de la operación			\$ 39.19
Cuatrocientos cincuenta y un pesos 54/100 M.N.		Costo horario	\$ 451.54

CAPÍTULO V
PROCESO CONSTRUCTIVO PARA LA
REHABILITACIÓN DEL SECTOR EN ESTUDIO

**TABLA V.7 CÁLCULO DE FACTORES PARA CONVERTIR
EL SALARIO BASE EN SALARIO REAL**

NUM.	CONCEPTO	PROYECTO		
A Dias pagados				
1	Por cuota diaria (según la Ley Federal del Trabajo Art. 83).	365.00	días	
2	Por prima vacacional (0.25 x 6 días) (Art. 76 y 80).	1.50	días	
3	Por aguinaldo por ley en más de 6 meses (Art. 80 y 87).	15.00	días	
Total de días pagados.		381.50	días	
FACTOR = Total de días pagados/cuota diaria = 381.50/365.00 = 1.0452		1.0452		
B Dias no laborados				
1	Por séptimo día (Art. 69).	52	días	
2	Por sábados 8 hrs. = 3 hrs. * 52 semanas/8 hrs.	19.5	días	
3	Por días festivos: 1 de enero, 5 de febrero, 21 de marzo, 1 de mayo, 16 de septiembre, 20 de noviembre, 25 de diciembre y 1 de diciembre cada 6 años (Art. 74).	7.17	días	
4	Por vacaciones (Art. 76).	6	días	
5	Por fiestas de costumbre: viernes santo, 3 de mayo, 2 de noviembre, 12 de diciembre y día santo patrono del lugar.	5	días	
6	Por enfermedad no profesional.	3	días	
7	Por mal tiempo.	4	días	
Total de días laborados		96.67	días	
FACTOR = Total de días pagados/cuota diaria-días no laborados = 365 - 96.67 = 268.83		381.5/268.83	1.4217	
FACTOR		1.4217		
NÚM.	Por IMSS	Cuota patronal	Cuota Obrero	Cuota obreo patronal
1	Enfermedad y maternidad.	8.7500%	3.1250%	11.8750%
2	Invalidez, vejez, etc.	5.6750%	2.0250%	7.7000%
3	Riesgos de trabajo.	6.5625%	0.0000%	6.5625%
4	Guarderías.	1.0000%	0.0000%	1.0000%
SUMA		21.9875%	5.1500%	27.1375%
FACTOR PARA TRABAJADORES CON SALARIO MÍNIMO				
1	Por la relación días pagados/cuota diaria-días no laborados.			0.0000
2	Por IMSS.	27.1375%		0.3858
3	Por INFONAVIT.	5.0000%		0.0711
4	Por SAR.	2.0000%		0.0284
5	Por impuesto sobre remuneraciones.	1.0000%		0.0142
6	Por impuesto sobre nóminas.	2.0000%		0.0284
FACTOR				0.04995
FACTOR PARA TRABAJADORES CON SALARIO MAYOR AL MÍNIMO				
1	Por la relación días pagados/cuota diaria-días no laborados.			0.0000
2	Por IMSS.	21.9875%		0.3126
3	Por INFONAVIT.	5.0000%		0.0711
4	Por SAR.	2.0000%		0.0284
5	Por impuesto sobre remuneraciones.	1.0000%		0.0142
6	Por impuesto sobre nóminas.	2.0000%		0.0284
FACTOR				0.4547
COSTOS INDIRECTOS				
NÚM.	CONCEPTO	% MÍNIMO	% MÁXIMO	% ACEPTADO
1	Por administración central.	3%	9%	5%
2	Por administración y gastos generales de obra.	4%	9%	5%
3	Por financiamiento.	1%	6%	3%
4	Por fianzas y seguros.	1%	3%	2%
5	Por imprevistos.	1%	5%	3%
SUMA COSTOS INDIRECTOS		10%	32%	18%
6	Impuestos.	5%	10%	7%
7	Utilidad.	8%	10%	10%
ARTÍCULO	IMSS (%)	PATRON	OBRERO	SUMA
9,72,73,74 106 Y 19 T	I. Riesgos de trabajo.	6.58875	0.0000	
	II. Enfermedad y maternidad			
	En especie.	Variable	Variable	
107, 25 107	En dinero.		0.700	0.250
	En especie pensionados y jubilados.		1.050	0.375
168 211	III. Invalidez y vida.		1.750	0.625
	IV. Retiro, cesantía, edad avanzada.		1.000	0.000
	Retiro (SAR).		2.000	1.125
	Cesantía, edad avanzada y vejez.		3.150	0.000
	V. Guarderías y prestaciones sociales.		1.000	
FACTOR DEL IMSS (FIMSS)				2.375

**DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS
EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE**

Otro elemento al integrar el precio unitario de una obra es el cálculo de la mano de obra, como se muestra en la tabla V.7 "Cálculo de factor para convertir el salario base en salario real" de acuerdo a la Ley del Trabajo y de la Ley del Seguro Social.

Con los datos anteriores se integraran los precios unitarios, por ejemplo para excavación con herramienta de mano, cuando los volúmenes son del orden de 5 a 6 metros cúbicos, además muchas veces es imposible usar retroexcavadoras por ser un trabajo delicado y el uso de maquinaria puede dañar otras instalaciones. En la Tabla V.8 "Análisis de precios unitarios con herramienta de mano" se muestra el cálculo.

**TABLA V.8 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS
CON HERRAMIENTA DE MANO**

Descripción del concepto					
Clave: 001			Unidad		\$/m ³
Excavación con heramienta de mano en cualquier tipo de material en terreno irregular, incluye: acarreo libre y apile de material, afine de taludes, mano de obra, equipo de bombeo, achique y todo lo pertinente al costo horario del equipo, fletes y herramieta para la correcta ejecución.			Precio unitario:		89.16
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
Mano de obra	1 Peón + mando intermedio.	Jornada	0.5	123.76	61.88
Cuadrilla					
Total de mano de obra					61.88
Herramienta					
Herramienta de mano	Pala, pico, martillo, etc.	% de mano de obra	0.03	61.88	1.86
Total de herramienta					1.86
Equipo					
Bomba para agua	Bomba para agua marca Acua, modelo 23-C, motor de gasolina.	Hora	0.35	23.3	8.16
Total de equipo					8.16
Ochenta y nueve pesos 16/100 M.N. 25 de enero de 2004			Costo directo		71.89
			Indirectos (19.83%)		14.26
			Subtotal		86.15
			Cargos adicionales (3.5%)		3.02
			Precio unitario		89.16

Cuando es conveniente usar maquinaria ya sea por que se va a reponer una tubería que tiene varias fugas contiguas, o se está seguro de no dañar otras instalaciones se presenta la Tabla V.9 "Análisis de precios unitarios en excavación con maquinaria".

**TABLA V.9 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS
 EN EXCAVACIÓN CON MAQUINARIA**

Descripción del concepto						
Clave: 002			Unidad			\$/m ³
Excavación en corte con maquinaria en cualquier tipo de material en terreno irregular, incluye: acarreo libre y apile de material, afine de taludes, mano de obra, equipo, lubricantes, combustibles y todo lo pertinente al costo horario del equipo, fletes y herramientas para la correcta ejecución.			Precio unitario:			76.96
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	Total	
Mano de obra	1 Peón + mando intermedio.	Jornada	0.14	107.78	15.09	
Cuadrilla						
Total de mano de obra					15.09	
Herramienta	Palas, martillos.	% de mano de obra	0.03	15.09	0.45	
Herramienta de mano						
Total de herramienta					0.45	
Equipo	Retroexcavadora marca caterpillar, modelo 235-C, motor diesel.	Hora	0.103	451.54	46.51	
Excavadora						
Total de equipo					46.51	
Setenta y seis pesos 96/100 M.N. 25 de enero de 2004			Costo directo		62.05	
			Indirectos (19.83%)		12.30	
			Subtotal		74.36	
			Cargos adicionales (3.5%)		2.60	
			Precio unitario		76.96	

V.3.4 PRESUPUESTOS PARA LA REHABILITACIÓN

A continuación se muestra el presupuesto para la rehabilitación de una fuga de agua en una tubería de polietileno en un deflexión de aproximada de 45 grado como lo muestra la Figura V.17 "Tubo de polietileno con fuga de agua" y en la Figura V.18 "Tubería reparada" se muestra la colocación del codo de acero con bridas. En la Tabla V.10 "Presupuesto para la rehabilitación de una fuga en tubería de polietileno" se muestran los cálculos del presupuesto.

**DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS
EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE**

**TABLA V.10 PRESUPUESTO PARA LA REHABILITACIÓN
DE UNA FUGA EN TUBERIA DE POLIETILENO**

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	TOTAL
TRABAJOS PRELIMINARES				
Colocación de señales en el área de reparación de la fuga de agua, incluye suministro y colocación en lugar visible de 4 (cuatro) señales que cumplan la Norma Oficial Mexicana NOM-26-STPS-1998. Y 20 metros de banda de plástico con anuncio de precaución que impidan el paso a peatones, incluye 4 postes metálicos para fijar bandas.	pza	4	\$ 668.13	\$ 2,672.50
EXCAVACIÓN				
Excavación con herramienta de mano, con remoción de carpeta asfáltica, remoción de relleno hasta despejar la tubería y poder hacer la reparación del tubo, incluye costo horario de la bomba para agua y realizar achique.	m ³	8.5	\$ 91.92	\$ 781.32
REPARACIÓN				
Suministro y colocación de casquillos de polietileno, incluye mano de obra de corte de tubería, unión por termofusión de los casquillos con los tubos, costo horario de máquina termofusora y todas las herramientas.	pza	2	\$ 316.80	\$ 633.60
Suministro y colocación de codo de 101 mm (4"), de 45° de acero. Incluye bridas, pernos, empaques, construcción y atraques, mano de obra, herramienta para su colocación, y todas las pruebas necesarias hasta que no haya fugas de agua.	pza	1	\$ 2,575.13	\$ 2,575.13
TRABAJOS FINALES				
Relleno en cepa en capas de 20 cm con material producto de la excavación compactado al 85% Proctor por medios manuales. Incluye: mano de obra, herramientas y todo lo necesario para su correcta ejecución.	m ³	8.5	\$ 32.24	\$ 274.04
Carpeta de concreto asfáltico con agregado máximo de 20 mm y 75 mm de espesor, tendido a mano. Incluye: concreto asfáltico AC-20 mezclado en caliente, herramientas, rastrillero, mano de obra y vibro compactador y acarreo de concreto asfáltico de la planta a la obra.	m ²	4	\$ 122.15	\$ 488.60
Retiro de señales de advertencia, escombros, y limpieza del lugar. Incluye acarreo en camión del material sobrante producto de la excavación fuera de la obra.	m ²	25	\$ 25.00	\$ 625.00
TOTAL				\$ 8,050.19

Para el cálculo de la cantidad de excavación se consideran las siguientes dimensiones: Un ancho de 1.75 metros por 3 metros de largo y una profundidad de 1.62 metros, esto da 8.5 metros cúbicos.

**TABLA V.11 PRESUPUESTO DE OBRA PARA LA REHABILITACIÓN
 DE UN TRAMO DE 100 METROS DE RED DE AGUA POTABLE**

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	TOTAL
TRABAJOS PRELIMINARES				
Colocación de señales en el área de reparación de la fuga de agua, incluye suministro y colocación en lugar visible de señales cada 5 metros que cumplan la Norma Oficial Mexicana NOM-26-STPS-1998. Y 20 metros de banda de plástico con anuncio de precaución que impidan el paso a pezones, incluye postes metálicos para fijar las bandas.	pza	21	\$ 668.13	\$ 14,030.63
EXCAVACIÓN				
Excavación en corte con maquinaria en cualquier tipo de material en terreno irregular. Incluye: acarreo libre y apile de material, afine de taludes, mano de obra, incluye costo horario de retroexcavadora y la bomba para agua y realizar achique.	m ³	306	\$ 76.96	\$ 23,549.76
REPARACIÓN				
Suministro y colocación de tubos de polietileno de 101 mm (4"). Incluye mano de obra de corte de tubería, unión por termofusión, costo horario de máquina termofusora, herramientas y todas las pruebas necesarias hasta que no haya fugas de agua.	m	100	\$ 49.62	\$ 4,962.00
TRABAJOS FINALES				
Relleno en cepa en capas de 20 cm con material producto de la excavación compactado al 85% Proctor por medios manuales. Incluye: mano de obra, herramientas y todo lo necesario para su correcta ejecución.	m ³	306	\$ 32.24	\$ 9,865.44
Carpeta de concreto asfáltico con agregado máximo de 20 mm y 75 mm de espesor, tendido a mano. Incluye: concreto asfáltico AC-20 mezclado en caliente, herramientas, rastrillero, mano de obra y vibro compactador y acarreo de concreto asfáltico de la planta a la obra.	m ²	175	\$ 122.15	\$ 21,376.25
Retiro de señales de advertencia, escombros, y limpieza del lugar. Incluye acarreo en camión del material sobrante producto de la excavación fuera de la obra.	m ²	25	\$ 25.00	\$ 625.00
TOTAL				\$ 74,409.08

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

En la anterior Tabla V.11 "Presupuesto de obra para la rehabilitación de un tramo de 100 metros de red de agua potable", al realizar el cálculo se considera que la excavación tiene 1.75 metros de ancho por 100 metros de largo y una profundidad de 1.75 metros.

Otra alternativa de hacer presupuestos es usando factores de actualización. El cálculo se realiza usando el Índices Nacionales de Precios al Consumidor (INPC) y el artículo 17-A del Código Fiscal de la Federación de los Estados Unidos Mexicanos que se transcribe:

El monto de las contribuciones, aprovechamientos, así como de las devoluciones a cargo del fisco federal, se actualizará por el transcurso del tiempo y con motivo de los cambios de precios en el país, para lo cual se aplicará el factor de actualización a las cantidades que se deban actualizar.

Dicho factor se obtendrá dividiendo el Índice Nacional de Precios al Consumidor del mes anterior al más reciente del periodo entre el citado índice correspondiente al mes anterior al más antiguo de dicho periodo. Las contribuciones, los aprovechamientos, así como las devoluciones a cargo del fisco federal, no se actualizarán por fracciones de mes.

En los casos en que el Índice Nacional de Precios al Consumidor del mes anterior al más reciente del período, no haya sido publicado por el Banco de México, la actualización de que se trate se realizará aplicando el último índice mensual publicado.

Los valores de bienes u operaciones se actualizarán de acuerdo con lo dispuesto por este Artículo, cuando las leyes fiscales así lo establezcan. Las disposiciones señalarán en cada caso el período de que se trate.

Las cantidades actualizadas conservan la naturaleza jurídica que tenían antes de la actualización. El monto de ésta, determinado en los pagos provisionales y del ejercicio, no será deducible ni acreditable.

Cuando el resultado de la operación a que se refiere el primer párrafo de este artículo sea menor a 1, el factor de actualización que se aplicará al monto de las contribuciones, aprovechamientos y devoluciones a cargo del fisco federal, así como a los valores de bienes u operaciones de que se traten, será 1.

Las cantidades en moneda nacional que se establezcan en este Código, se actualizarán cuando el incremento porcentual acumulado del Índice Nacional de Precios al Consumidor desde el mes en que se actualizaron por última vez, exceda del 10%. Dicha actualización se llevará a cabo a partir del mes de enero del siguiente ejercicio a aquél en el que se haya dado dicho incremento.

Para la actualización mencionada se considerará el período comprendido desde el mes en el que éstas se actualizaron por última vez y hasta el último mes del ejercicio en el que se exceda el porcentaje citado.

Para estos efectos, el factor de actualización se obtendrá dividiendo el Índice Nacional de Precios al Consumidor del mes inmediato anterior al más reciente del período entre el Índice Nacional de Precios al Consumidor correspondiente al mes anterior al más antiguo de dicho período. El Servicio de Administración Tributaria realizará las operaciones aritméticas previstas en este artículo y publicará el factor de actualización así como las cantidades actualizadas en el Diario Oficial de la Federación.

Para determinar el monto de las cantidades a que se refiere el párrafo anterior, se considerarán, inclusive, las fracciones de peso; no obstante lo anterior, dicho monto se ajustará para que las cantidades de 0.01 a 5.00 pesos en exceso de una decena, se ajusten a la decena inmediata anterior y de 5.01 a 9.99 pesos en exceso de una decena, se ajusten a la decena inmediata superior.

Los datos de la Tabla V.12 "Índices Nacionales de Precios al Consumidor" se utilizan para los cálculos de factores de actualización.

**DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS
EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE**

TABLA V.12 ÍNDICES NACIONALES DE PRECIOS AL CONSUMIDOR

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1997	0.058	0.059	0.060	0.061	0.062	0.062	0.063	0.064	0.066	0.066	0.067	0.068
1998	65.638	66.787	67.569	68.201	68.745	69.557	70.228	70.903	72.053	73.085	74.380	76.195
1999	78.119	79.169	79.904	80.637	81.122	81.655	82.195	82.658	83.456	83.985	84.732	85.581
2000	86.730	87.499	87.984	88.485	88.122	89.342	89.690	90.183	90.842	91.467	92.249	93.248
2001	93.765	93.703	94.297	94.772	94.772	95.215	94.967	95.530	96.419	96.855	97.220	97.354
2002	98.253	98.190	98.692	99.231	99.432	99.917	100.204	100.585	101.190	101.636	102.458	102.904
2003	103.320	103.607	104.261	104.439	104.102	104.188	104.339	104.652	105.275	105.661	106.538	106.996
2004	107.661	108.305										

Así para el mes de enero del 2004 y después del día 10 en que se publica en el Diario Oficial de la Federación el Índice Nacional de la Federación del mes de diciembre del 2003 y que fue de 103.996 se hace el siguiente cálculo de los factores en la Tabla V.13 "Cálculos de Factores de Actualización".

Se usa el índice del mes de diciembre de 2003 porque los cálculos de presupuesto se fijaron en el mes de enero de 2004 aunque ya se tiene los índices de los meses siguientes a esa fecha.

TABLA V.13 CÁLCULO DE FACTORES DE ACTUALIZACIÓN

CELDA	AÑO/MES	I.N.P.C.	APLICACIÓN DEL ARTÍCULO 17-A DEL CÓDIGO FISCAL DE LA FEDERACIÓN	FACTOR DE ACTUALIZACIÓN
A	B	C	D	E
1	2003/01	103.320		
2	2003/02	103.607	(ENTERO ((C\$12/C1)*10000))/10000	1.0355
3	2003/03	104.261	(ENTERO ((C\$12/C2)*10000))/10000	1.0327
4	2003/04	104.439	(ENTERO ((C\$12/C3)*10000))/10000	1.0262
5	2003/05	104.102	(ENTERO ((C\$12/C4)*10000))/10000	1.0244
6	2003/06	104.188	(ENTERO ((C\$12/C5)*10000))/10000	1.0277
7	2003/07	104.339	(ENTERO ((C\$12/C6)*10000))/10000	1.0269
8	2003/08	104.652	(ENTERO ((C\$12/C7)*10000))/10000	1.0254
9	2003/09	105.275	(ENTERO ((C\$12/C8)*10000))/10000	1.0223
10	2003/10	105.661	(ENTERO ((C\$12/C9)*10000))/10000	1.0163
11	2003/11	106.538	(ENTERO ((C\$12/C10)*10000))/10000	1.0126
12	2003/12	106.996	(ENTERO ((C\$12/C11)*10000))/10000	1.0042
13	2004/1	107.661	(ENTERO ((C\$12/C12)*10000))/10000	1.0000
14	2004/2	108.305		
15	2004/3	108.672		

En los cálculos mostrados en la Tabla V.13 “Cálculos de factores de actualización” se usó el Programa Excel de Microsoft y en la columna “D” muestra las fórmulas que se usan para calcular el factor de actualización cuyos valores se muestran en la columna “E”.

TABLA V.14 PRECIOS UNITARIOS DEL MES DE OCTUBRE DE 2003
Y ACTUALIZADOS AL MES DE ENERO DE 2004

CONCEPTO	PRECIO UNITARIO AL MES DE OCTUBRE DE 2003	FACTOR DE ACTUALIZACIÓN ENTRE OCTUBRE DE 2003 Y ENERO DE 2004	PRECIO UNITARIO AL MES DE ENERO DE 2004
Colocación de señales en el área de reparación de la fuga de agua, incluye suministro y colocación en lugar visible de 4 (cuatro) señales que cumplan la Norma Oficial Mexicana NOM-26-STPS-1998. Y 20 metros de banda de plástico con anuncio de precaución que impidan el paso a peatones, incluye 4 postes metálicos para fijar las bandas.	\$ 657.41	1.0163	\$ 668.13
Excavación con herramienta de mano, con remoción de carpeta asfáltica, remoción de relleno hasta despejar la tubería y poder hacer la reparación del tubo, incluye costo horario de la bomba para agua y realizar achique.	\$ 90.45	1.0163	\$ 91.92
Suministro y colocación de casquillos de polietileno, incluye mano de obra de corte de tubería, unión por termofusión de los casquillos con los tubos, costo horario de máquina termofusora y todas las herramientas para su correcta ejecución.	\$ 311.72	1.0163	\$ 316.80
Suministro y colocación de codo de 101 mm (4"), de 45° de acero. Incluye bridas, pernos, empaques, construcción y atraques, mano de obra, herramienta para su colocación, y todas las pruebas necesarias hasta que no haya fugas de agua.	\$ 2,533.83	1.0163	\$ 2,575.13
Relleno en cepa en capas de 20 cm con material producto de la excavación compactado al 85% Proctor por medios manuales. Incluye: mano de obra, herramientas y todo lo necesario para su correcta ejecución.	\$ 31.72	1.0163	\$ 32.24
Carpeta de concreto asfáltico con agregado máximo de 20 mm y 75 mm de espesor, tendido a mano. Incluye: concreto asfáltico AC-20 mezclado en caliente, herramientas, rastrillero, mano de obra y vibro compactador y acarreo de concreto asfáltico de la planta a la obra.	\$ 120.19	1.0163	\$ 122.15
Retiro de señales de advertencia, escombros, y limpieza del lugar. Incluye acarreo en camión del material sobrante producto de la excavación fuera de la obra.	\$ 24.60	1.0163	\$ 25.00

**DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS
EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE**

**TABLA V.15 PRECIOS UNITARIOS DEL MES DE OCTUBRE DE 2003 Y
ACTUALIZADOS AL MES DE ENERO DE 2004 (CONTINUACIÓN)**

CONCEPTO	PRECIO UNITARIO AL MES DE OCTUBRE DE 2003	FACTOR DE ACTUALIZACIÓN ENTRE OCTUBRE DE 2003 Y ENERO DE 2004	PRECIO UNITARIO AL MES DE ENERO DE 2004
Colocación de señales en el área de reparación de la fuga de agua, incluye suministro y colocación en lugar visible de señales cada 5 metros que cumplan la Norma Oficial Mexicana NOM-26-STPS-1998. Y 20 metros de banda de plástico con anuncio de precaución que impidan el paso a peatones, incluye postes metálicos para fijar las bandas.	\$ 657.41	1.0163	\$ 668.13
Excavación en corte con maquinaria en cualquier tipo de material en terreno irregular. Incluye: acarreo libre y apile de material, afine de taludes, mano de obra, incluye costo horario de retroexcavadora y la bomba para agua y realizar achique.	\$ 75.73	1.0163	\$ 76.96
Suministro y colocación de tubos de polietileno de 101 mm (4"). Incluye mano de obra de corte de tubería, unión por termofusión, costo horario de máquina termofusora, herramientas y todas las pruebas necesarias hasta que no haya fugas de agua.	\$ 48.82	1.0163	\$ 49.62
Relleno en cepa en capas de 20 cm con material producto de la excavación compactado al 85% Proctor por medios manuales. Incluye: mano de obra, herramientas y todo lo necesario para su correcta ejecución.	\$ 31.72	1.0163	\$ 32.24
Carpeta de concreto asfáltico con agregado máximo de 20 mm y 75 mm de espesor, tendido a mano. Incluye: concreto asfáltico AC-20 mezclado en caliente, herramientas, rastrillero, mano de obra y vibro compactador y acarreo de concreto asfáltico de la planta a la obra.	\$ 120.19	1.0163	\$ 122.15
Retiro de señales de advertencia, escombros, y limpieza del lugar. Incluye acarreo en camión del material sobrante producto de la excavación fuera de la obra.	\$ 24.60	1.0163	\$ 25.00

Si se cuenta con un catálogo de Precios Unitarios de alguna empresa privada o pública calculado en el mes de octubre de 2003, el factor de actualización se aplica tal como se muestra en la Tabla V.14 "Precios Unitarios del mes de octubre del 2003 y actualizados al mes de enero de 2004" y en la Tabla V.15 "Precios Unitarios del mes de octubre de 2003 y actualizados al mes de enero de 2004 continuación". Se hace una comparación entre las dos rehabilitaciones, en la

Tabla V.16 “Comparación de rehabilitaciones” se deduce que es económico cambiar la tubería si se presentan más de 9 fugas cada 100 metros. Sin embargo este es un resultado hipotético, porque no se toman en cuenta otros factores y circunstancias difíciles de estimar en dinero.

TABLA V.16 COMPARACIÓN DE REHABILITACIONES

TIPO DE REHABILITACIÓN	COSTO
Rehabilitación de una fuga de agua potable	\$ 8,050.19
Rehabilitación de 100 metros de tubería de agua potable	\$ 74,409.08

Si se hace un cálculo estimado del costo del agua que se desperdicia en una fuga de agua, si se tiran 150 litros cada minuto por una fuga y se atienden las fugas en 45 días, en este tiempo se desperdician 9,720 m³. Si este volumen se multiplica por 0.30 pesos que cuesta un metro cúbico no da 2,916 pesos. Si se toma la decisión de cambiar una tubería después de reparar 8 fugas individuales, realmente los costos serían los mostrados en la Tabla V.17 “Costos de reparación de más de 8 fugas”.

TABLA V.17 COSTOS DE REPARACIÓN DE MÁS DE 8 FUGAS

TIPO DE REHABILITACIÓN	OPERACIÓN	COSTO
Costo de ocho reparaciones individuales.	\$8,050.19*8	\$ 64,401.52
Costo del agua desperdiciada.	\$2,916*8	\$ 23,328.00
Costo de reponer 100 metros de tubería.	\$ 74,409.08	\$ 74,409.08
TOTAL		\$ 162,138.60

Es decir se estaría gastando más del doble por tomar la decisión de reparar hasta las 8 fugas por cada 100 metros. Además no se cuantificó el daño ecológico ni el tiempo, peligros y molestias en que la población dejó de tener el servicio de agua. Por eso es importante el estudio de las causas de una fuga (como se ha indicado a través de este trabajo) para tomar la decisión correcta en la reparación de fugas, no solamente el costo evidente de la reparación. Debido a lo anterior no se ha hecho otros presupuestos comparativos para tuberías de mayor diámetro. En la siguiente sección se exponen las conclusiones y las recomendaciones.

CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la actualidad es una necesidad el evaluar las causas que generan los problemas de la escasez de agua e implementar programas que ayuden a la detección y recuperación de fugas de agua potable, haciendo un buen uso racional del agua, evitando en lo posible el agotamiento de los mantos acuíferos.

Crear conciencia y racionalizar a los usuarios mediante la implementación de programas que lleven a una eficaz cultura del agua que involucre la participación directa de todos y cada uno de los ciudadanos en la responsabilidad que correspondiente a cada individuo para el uso adecuado del agua.

Inyectar inversiones financieras importantes en plantas de tratamiento, que den como resultado agua de calidad que sirva entre otras cosas para sistemas de riego y aun para infiltrar aguas tratadas al subsuelo y ayudar a recargar las aguas subterráneas.

Algunos de los factores que intervienen al presentarse fugas de agua en los sistemas hidráulicos son:

- 1) El envejecimiento de la tubería. Conforme pasa el tiempo la red envejece como es de esperarse un deterioro en la misma, que se traduce en reducción de capacidad de conducción, por el incremento del factor pérdidas.
- 2) Falta de actualización del catastro. La ausencia de un levantamiento de la red afecta la operación, ya que el desconocer la ubicación, tipo y tamaño de tuberías, así como de las válvulas instaladas, dificulta sobremanera cualquier análisis para modificar la forma de operación.
- 3) Falta de mantenimiento. Las restricciones económicas constituyen otro

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

factor que afecta la operación de la red, ya que limita el mantenimiento de equipos, con el consecuente deterioro de las instalaciones de servicios.

Como complemento a las acciones para el abasto se incluye el aumentar la eficiencia en el manejo de agua con las fuentes e infraestructura actuales, esto implica la distribución hasta donde sea física y económicamente rentable, a zonas donde debido a la topografía del terreno no tiene presión suficiente para el abastecimiento de la red secundaria y en las tomas domiciliarias; antes de entrar a cada uno de los predios.

También se plantea el uso de nuevas tecnologías y procedimientos de trabajo, lo que permite generar experiencias para elegir el método más adecuado en la operación definitiva de las redes, así como seleccionar las herramientas adecuadas para el proyecto, planear la adquisición de equipo y material especializado, para llegar a definir la capacitación del personal, todo ello para lograr la eficacia y eficiencia del sistema hidráulico.

Además, es necesario contar con padrones actualizados y autorizados de usuarios que faciliten la implantación de sistemas eficientes de medición, basados en la facturación y cobro por el suministro de los servicios e instalar medidores de consumo que permitan recuperar el costo de los servicios de agua potable. Otro aspecto fundamental es incorporar en los marcos legales correspondientes la posibilidad de restricción y suspensión del servicio de agua potable a quien no lo pague.

En lo relativo al impacto ambiental provocado por fugas de agua potable, para ésta investigación se incluyeron lineamientos generales que son aplicables en todo estudio de impacto ambiental por considerarse importantes. Aunque cabe mencionar que para éste trabajo resultan poco específicos para su solución, partiendo del entendido de que es difícil cuantificar los daños generados por las fugas de agua potable.

Ya en la actualidad y como una parte de las medidas precautorias, se han

realizado campañas para dirigir a la población en general hacia una nueva cultura del buen uso y cuidado del agua, concientizando y haciendo énfasis a los usuarios en prevenir, detectar, reparar y/o reportar en lo posible ante las dependencias correspondientes, fugas de agua potable en cualquiera de las formas en que éstas se manifiesten, y así llegar a tener un mejor uso del tan mencionado elemento vital.

Dentro de los esfuerzos realizados para mejorar el servicio de agua potable, uno de ellos es el de descentralizar éste, con el fin de que el organismo operador sea capaz de operar los sistemas en un marco de autosostenimiento, logrando con recursos propios y bajas inversiones un alto retorno de obras inmediatas de infraestructura, manteniendo acciones de fortalecimiento empresarial dirigidas a mejorar la eficiencia en cuanto a cobertura y calidad, en el mediano y largo plazo.

Implementar programas de planeación, programación y control de procesos, dentro de una visión sistemática integral de todos los componentes que permitan seguir la evolución de los sistemas detección y recuperación de fugas en redes de distribución de agua potable.

Por lo tanto, existe una necesidad importante de la participación de colaboradores externos que permitan hacer más eficiente el sistema, a través de:

- Reducción del agua no contabilizada.
- Expansión del servicio que satisfaga la creciente demanda.
- Medición real del consumo.
- Eliminar la ineficacia de la facturación y cobranza, lo que permitirá la generación suficiente de fondos necesarios para la expansión del servicio y la protección del entorno ecológico.
- Una clara responsabilidad regulada.
- Creación de una nueva cultura del agua.

De ésta forma se eliminarán subsidios, a través del manejo eficiente del servicio, estableciendo medición y tarifas adecuadas, dentro de la equidad social, mantenimiento permanente y facturación justa y oportuna.

Redunda lo anterior en un ahorro de agua, prolongación de la vida de las instalaciones, conservación y reducción de inversiones económicas.

De ésta manera, una exitosa participación del sector privado debe ser vista como una sociedad entre éste y el sector público, para así poder maximizar los beneficios para los usuarios, esto conlleva a que existan dos objetivos del sector público con respecto a la participación del sector privado:

- Expandir el abastecimiento de agua con el fin de incrementar la cobertura.
- El proveer de una mejor calidad los servicios.

Ya en la actualidad, se requiere de una política de prioridades para el control de las fugas de agua potable, contando con un plan de emergencia y control de fugas de agua, para lograr que se reduzca a un mínimo el tiempo promedio que transcurre entre el seguimiento de una fuga y su eliminación, es decir, a través de acciones gerenciales eficaces, se busca reducir el volumen de agua perdido en cada fuga y la existencia de la misma, desde el punto de vista técnico y económico.

La diferencia entre un sistema de distribución que cuente con servicio de detección, localización y reparación de fugas eficaz y un sistema donde hay deficiencias de esos servicios, no radica necesariamente en la cantidad de nuevas fugas que surgen diariamente, sino en la duración de las mismas.

Otras de las acciones sugeridas para el mejoramiento de los sistemas hidráulicos se encuentran:

- **Padrón de Usuarios.** Es el registro de usuarios con instalaciones prediales conectadas al sistema público de distribución de agua, se actualizó y ordenó de tal manera que es posible conocer la localización, clase y tipo de usuario, características del micromedidor instalado y consumos registrados periódicamente.
- **Catastro Técnico de la Red.** se conforma con una serie de planos y fichas

técnicas (puede haber varios con distinto nivel de detalle) y sirven para ubicar de manera gráfica los elementos de la red, así como referir sus características físicas, tipo de material, diámetro, estado de deterioro, profundidad y aquellos que identifican plenamente cada elemento que componen a la red (válvulas, hidrantes, tramos de tubería, cruceros, cotas de terreno, presiones en los conductos, etcétera).

- Procesamiento de solicitudes de servicio e instalación de nuevas tomas, lecturas de consumo, proceso de la información relacionada, soporte técnico para la determinación de los derechos de emisión y distribución de boletas; la recepción de los derechos de servicio público de agua potable y drenaje, así como el mantenimiento, reparación y reposición de medidores.
- Operación del sistema de distribución de agua potable, detección y reparación de fugas visibles y no visibles de agua potable, desazolve de la red secundaria de drenaje, mantenimiento, rehabilitación y ampliación de redes secundarias de agua potable y drenaje, así como la sustitución y renivelación de accesorios en mal estado de la red secundaria.

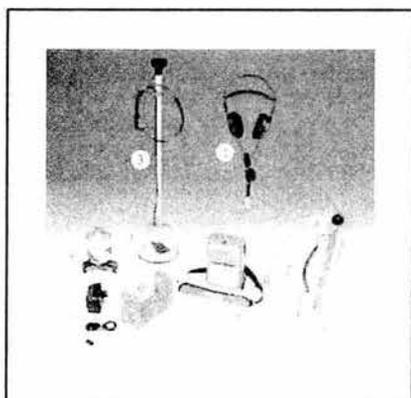
ANEXO A

EQUIPO E INSTRUMENTACIÓN PARA LOCALIZACIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN REDES DE DISTRIBUCIÓN

ANEXO A

EQUIPO E INSTRUMENTACIÓN PARA LOCALIZACIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN REDES DE DISTRIBUCIÓN

1. Geófonos para localización de fugas de agua en redes de distribución.
(AQUAPHON EW y AQUAPHON ELW)



Aplicación

Instrumento desarrollado para la detección de fugas de agua en redes de abastecimiento. De gran capacidad acústica, su sencillo manejo y su diseño práctico y manejable lo convierten en una herramienta fundamental para las empresas de distribución de aguas.

El modelo ELW puede, además, completarse para la realización de trabajos de localización de tuberías metálicas y cables enterrados.

Características principales

El sistema electroacústico Aquaphon para la detección de fugas de agua en tuberías subterráneas es, sin lugar a dudas, el sistema de mayores prestaciones del mercado.

Incluye dos sondas de serie:

- Sonda tipo T para contacto directo a tuberías o accesorios de red en superficie.
- Geófono de superficie para la recepción de sonidos del subsuelo.

Su maleta permite, no sólo el transporte de todos sus componentes y accesorios, si no también la recarga del equipo en su interior, evitando de este modo posibles roturas por descuidos.

Se ofrece en dos versiones: EW y ELW. Aunque ambos presentan las mismas funciones en lo que a detección de fugas se refiere, el modelo ELW puede ser ampliado para la localización de tuberías metálicas y cables enterrados. En efecto, el completo y conocido sistema Ferrophon de Sewerin permite realizar esa función a través de tres piezas: Generador de señales, Antena de recepción y Receptor de señal.

Pues bien, el modelo ELW incorpora la tecnología del receptor de señal por lo que si se desea realizar trabajos de localización y situación de tuberías metálicas y cables enterrados puede ser equipado, de origen o posteriormente, con la sonda y el generador de señales necesarios. De este modo obtendremos un equipo polivalente a un precio sensiblemente menor.

Las características y funciones principales del Aquaphon son las siguientes:

- Identificación automática de micrófonos, de manera que pueden realizarse distintos ajustes de frecuencias, volumen y sensibilidad para cada uno de ellos.
- Procesador de señales digital.
- Función de protección de los oídos. Corta la salida de señal a los auriculares en aquellos momentos puntuales en los que los sonidos son más altos, protegiendo de este modo el oído del operario.
- Función de optimización del filtro. Además de la posibilidad de elección manual de filtros entre 50 y 9,950 hertz., existe la posibilidad de selección

automática (función BP Scan) según las características puntuales que el propio equipo analiza.

- Función de indicador arrastrado. Visualiza en pantalla los niveles de los sonidos momentáneos.
- Función de memoria. Permite comparar el mínimo ruido de la medición actual con el mínimo obtenido en la medición inmediatamente anterior. De este modo se identifica rápidamente si se acerca o si se aleja del punto de fuga.
- Pantalla iluminable de gran tamaño y de contraste variable.
- Tres escalas seleccionables de sonido. Para una mayor sensibilidad en aquellas zonas en las que el ruido ambiente lo permitan.
- Acumulador de carga incorporado. El sistema puede ser recargado dentro de la propia maleta de transporte (evita roturas) y muestra tanto el restante de horas de funcionamiento como de tiempo necesario para recarga completa. Se puede, además, dotar del sistema de recarga en vehículo.
- Posibilidad de escucha en función "manos libres" que permite la escucha continua sin necesidad de operar en la unidad central.
- Autonomía de funcionamiento 8 horas aproximadamente.
- Peso: 1.4 kg aproximadamente.

Equipamiento básico

El suministro incluye, de serie, los siguientes elementos (que puede identificar por el número que presentan en la imagen de portada):

- Receptor ELW o EW dependiendo del modelo seleccionado, (posición. 8 de la imagen).
- Geófono de prueba tipo campana BO4, (posición 1 de la imagen).
- Bastón de Prueba, (posición 4 de la imagen).
- Maleta de transporte con sistema auto-recarga.
- Bastón para geófonos H-4, (posición 3 de la imagen).
- Fuente de alimentación, (posición 7 de la imagen).
- Adaptador de carga HS, (posición 6 de la imagen).

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

- Auriculares estéreo, (posición 5 de la imagen).
- Correa de transporte "sistema triángulo", (posición 8 de la imagen).

Accesorios disponibles

El Aquaphon es suministrado completo para la detección y localización de fugas. Sin embargo, existen diversos accesorios para aplicaciones concretas que se destacan a continuación:

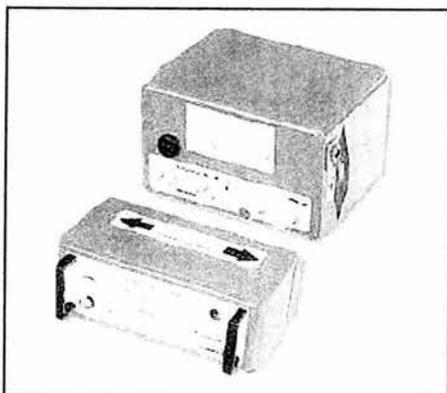
- Para superficies no asfaltadas
EM31-10000. Geófono 3P-4 para superficies irregulares, zonas de tierra o ajardinadas. Permite una mejor recepción del sonido en estas áreas, con la posibilidad incluso de introducir una pica en el suelo (posición 2 de la imagen).
- Para interiores
EM05-12000. Micrófono de contacto KM3-P. Micro manual para detección de fugas en interiores de edificios.
- Para ampliación del equipo a localizador de cables y tuberías enterradas (sólo posible en el modelo AQUAPHON ELW).
ES30-10000. Sonda Antena A3.
SW14-10005. Generador de señales G1.

Otros equipos:



Imagen del modelo ELW con sonda de localización de cables.

2. Geófono para localización de fugas en redes domésticas con posibilidad de incorporación de función de localización de tuberías y/o cables DUOPHON



Aplicación

Instrumento desarrollado para la detección de fugas de agua en redes domésticas. De sencillo manejo, el sistema Duophon puede ser ampliado a detector de tuberías y cables.

Características principales

El sistema Duophon está especialmente indicado para fugas domésticas. Este sistema consiste en escuchar directamente, a través de válvulas o accesorios en tuberías o del suelo o la pared sobre la conducción. El modelo Duophon amplifica los sonidos pudiendo identificar si existe fuga.

Además, a través de la conexión en un punto conocido de un transmisor emisor de señales a una tubería metálica o cable, permite identificarla y situarla en otros puntos desconocidos. Su manejo es muy sencillo y práctico.

Equipamiento Básico

El suministro es completo incluyendo, de serie, los siguientes elementos:

- Receptor Duophon.
- Auriculares mono.

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

- Transmisor de señales para identificación de tuberías metálicas y cables.
- Fuente de alimentación para carga de transmisor.
- Set de cables.
- Bolsa de transporte equipo.
- Micrófono de contacto para localización de averías.
- Trípode M6.
- Contacto magnético M6.
- Extensión para contacto en válvulas M6/450 mm.
- Extensión para contacto en válvulas M6/170 mm.
- Bobina sonda para detección de cables tuberías metálicas modelo FS3A.

3. Equipo para localización de fugas de agua por correlación SeCorr 05



Aplicación

Instrumento para la localización exacta de las fugas de agua en un tramo determinado de tubería por el método de correlación.

Sistema de funcionamiento basado en la captación del sonido por medio de dos micrófonos de contacto sobre dos válvulas o accesos a un tramo de tubería y la emisión del sonido de éstos al correlador por vía radio simultáneamente. La unidad central analiza los datos recibidos y, a través del cálculo FFT, posiciona el punto exacto de fuga.

Debido a que los datos y valoraciones se realizan a través de una computadora, su resolución gráfica es excelente y su capacidad de almacenamiento de datos es prácticamente ilimitada.

Características Principales

Este instrumento ha sido desarrollado según las necesidades y recomendaciones de los profesionales de la correlación. Su operatividad a través de la computadora le confiere una gran capacidad de resolución y de análisis. Su versatilidad es muy amplia permitiendo:

- Tomar datos en campo, memorizar y analizar posteriormente los datos en la oficina.
- Imprimir informes de trabajo muy completos.
- Memoria de resultados de medición prácticamente ilimitada.
- La computadora puede ser utilizado para otras funciones.

Otras características fundamentales son:

- Correlador de Transformada Rápida de Fourier que sus siglas en inglés (FFT) con 8,192 puntos y una exactitud de ± 6 cm en el caso de un tubo metálico de 250 metros de longitud con una velocidad de transmisión de sonido de 1,250 m/s.
- 2 canales de recepción vía Radio.
- Conversor A/D de 12 bits.
- Amplificación de auriculares ajustable.

Características técnicas del software

Se trata de un software de gran capacidad y desarrollo de última generación y sobre todo, muy sencillo manejo. Es muy intuitivo y todas las funciones posibles se encuentran a la vista en una sola pantalla. Sus características destacables son:

- Técnica Transformada Rápida de Fourier, permite una velocidad de cálculo significativamente mayor y un ajuste exacto del filtro.

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

- Función de coherencia, indicación de la gama de frecuencias con gran parecido a los ruidos de fuga transmitidos, esencial para la filtración de una señal específica.
- Espectro cruzado, ayuda adicional para seleccionar ajustes de filtración importantes.
- Función Top; supresión de picos menores. La fuga se visualiza todavía con mayor intensidad.
- Medida en 3 puntos; localización precisa, sin conocerse, de la velocidad del sonido.
- Supresión de interferencias; en el caso de ruidos interferentes, el proceso de medida se interrumpe hasta que la señal se vuelva a recibir con claridad.
- Introducir secciones de tubería diferentes; en una representación clara y visible.
- Activación frecuencias individuales; por ejemplo zumbido de red (60/100 hertz.), ruido de bombas, turbinas, motores.
- Frecuencia de muestreo hasta 8,192 hertz.; pueden registrarse fracciones de ruido de hasta 4,000 hertz.
- Es posible reducir la frecuencia de muestreo a sólo 100 hertz., procedimiento útil cuando se realizan medidas en tuberías de plástico. Fracciones por debajo e 10 Hz. se pueden registrar con hidrófonos.
- Alta resolución del rango de medida; se recibe una alta precisión de medida (por ejemplo 6 cm en una tubería de hierro fundido de 250 m de longitud).
- Es posible registrar una gran diferencia de tiempo; 3,000 m máximo. Esto da como resultado un alcance de localización de 3 km a una velocidad de sonido de 1,000 m/s.
- Control de conexión/desconexión de la radio; en caso de disrupción de la conexión de la radio, aparece un aviso en el monitor.
- Medir la velocidad del sonido; si no conoce dato alguno sobre las dimensiones o el material de la tubería.

- Tratamiento posterior de las medidas; el primer análisis realizado "in situ", puede ser tratado después, ya que la capacidad de memoria de varios centenares de medidas es suficiente.
- Ejemplos de medidas; el software contiene ejemplos interesantes con fines prácticos.
- Edición de gráficos de la velocidad del sonido; el usuario puede realizar adaptaciones de acuerdo con su propia experiencia.
- Idioma español. Tanto el software como el manual, se encuentran en español.

Características técnicas de los radiotransmisores

- Transmisión de la señal vía radio.
- Controlado por microprocesador.
- 3 modos de funcionamiento: ajuste automático, manual de la amplificación o módulo de transmisión desconectado.
- Filtro de señal inferior a 150 Hz. Este método permite que no se produzcan resultados erróneos por la proximidad de cables de alta tensión.
- Pantalla de cristal líquido que sus siglas en inglés son LCD con indicación continua de tiempo restante de funcionamiento y de nivel de ruido.
- Protección IP54, posibilitando la transmisión desde el interior del maletín.
- Calidad de transmisión 500 mW (registro BZT).
- Maleta de transporte con conexiones de carga, de antena y de micrófonos exteriores. De este modo se pueden realizar todas las funciones con el equipo en su interior, evitando roturas por golpes o descuidos.

Características técnicas de los micrófonos

- Acelerómetros piezoeléctricos altamente sensibles.
- Cápsula de acero inoxidable estanca.
- Ajuste de impedancia integrado.
- Cuando los instrumentos no se están utilizando pueden permanecer en estado de carga dado que la técnica de compensación garantiza el funcionamiento constante.
- Filtro de paso alto en el transmisor.

Equipamiento básico

El suministro incluye todos los elementos necesarios para la realización de los trabajos de detección. Éstos son los siguientes:

- 1 Unidad central de correlación Secorr 05, incluyendo transductor de señal VOE 04, software SeCorr 05, antena con sujeción magnética, alimentador de red a automóvil, maleta de transporte e instrucciones en español.
- 2 Maletines emisores de sonidos (vía radio) incluyendo, acelerómetros, transmisor de radio, imanes de conexión, conectores de contacto a tornillería, antenas, correajes de transporte, adaptador de red y manual en español.
- Puesta en marcha por parte de nuestro personal especializado y cursillo de entrenamiento de los operarios que lo vayan a utilizar.

Es posible la instalación del sistema a través de:

- Computadora de sobremesa: Ideal cuando se trata de una unidad móvil de detección de fugas de agua, el ordenador se instala en el propio vehículo.
- Computadora portátil: Más versátil que el anterior. La maleta de la unidad central ha sido desarrollada para incluir en la Computadora, por lo que puede utilizarse en varios vehículos y fácilmente es transportable.

Accesorios disponibles

Como complemento a los elementos descritos anteriormente puede completar su equipo con los siguientes accesorios:

EM22-10100. Hidrófono para toma de valores a través del agua de la red, modelo HA. Este hidrófono, en contacto permanente con el agua, es capaz de captar fracciones de ruido por debajo de 10 Hz. Esta opción mejora el éxito en tuberías plásticas en más de un 200%. Se necesitan 2 unidades, uno para cada transmisor.

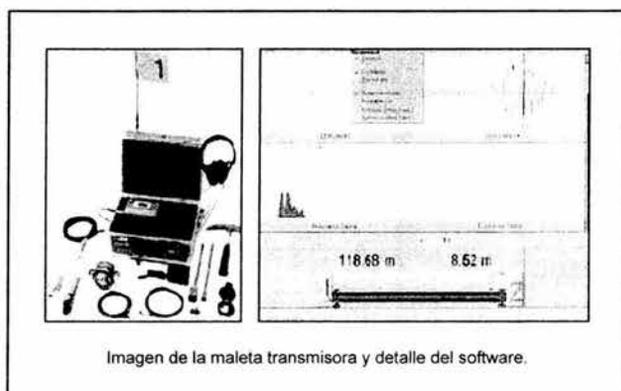
ZD04-10002. Maleta de transporte para los Hidrófonos. Capaz de incluir en su interior ambos hidrófonos y todos sus elementos y cables de conexión.

KR06-Z0300. Cassette audio C-60 con distintos ruidos de fuga y conjunto de cables. Con la ayuda de las instrucciones que se adjuntan se pueden practicar

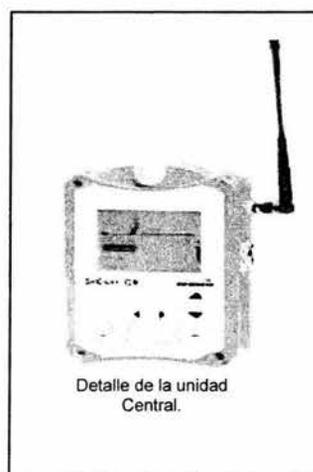
todos los casos básicos. Para la instrucción en el funcionamiento del correlador y como señal de prueba para la comprobación de todo el sistema, puede usarse cualquier equipo estéreo normal (walkman).

KR06-Z0350. Disco compacto de audio para la misma aplicación que el ítem anterior.

Otras imágenes:



4. Equipo portátil para localización de fugas de agua por correlación SeCorr 08



Aplicación

Instrumento para la localización exacta de las fugas de agua en un tramo determinado de tubería por el método de correlación.

Sistema concebido de forma modular para satisfacer las necesidades del profesional. Existen dos variantes dependiendo de las necesidades del usuario:

- Modelo Standard, para operarios que se inician con escasa experiencia.
- Modelo Profesional, para aquellos operarios que desean las más altas prestaciones. Características principales:

El SeCorr 08 ha sido concebido como un equipo capaz de satisfacer las necesidades concretas de cada usuario. Su nivel de prestaciones y calidad es el fruto de una larga experiencia adquirida en más de 70 años en el diseño y fabricación de sistemas de localización de fugas de agua. Se presenta en dos versiones:

- Standard: Ha sido desarrollado para dar respuesta a aquellos servicios que necesitan un equipo capaz de mejorar de forma rápida y económica los rendimientos de su red y que no pueden disponer de personal dedicado específicamente a la detección de fugas. Por este motivo, su software es de muy fácil manejo y su menú guía al usuario para realizar las funciones necesarias:
 - Encendido.
 - Introducción de datos de distancias.
 - Introducción de diámetros y materiales de tuberías.
- Profesional: Esta variante satisface los requerimientos del profesional más exigente.
 - Permite la utilización y manejo de todo tipo de filtros de señal basados en la Transformada Rápida de Fourier y coherencia.
 - Presenta puerto de comunicación a la computadora (en breve se dispondrá de software específico).

- Función electro acústica de búsqueda de fugas de agua (también puede ser usado como geófono a través de la campana de escucha del Aquaphon).

Además, esta versión puede ser utilizado en el modo "Standard" para la realización de medidas de emergencia.

Características del SeCorr 08

- Correlador que utiliza el sistema de Transformada Rápida de Fourier
- Basado en DSP (procesador de señales digital).
- Resistente al agua.
- 2 canales de recepción vía radio (posibilidad de un solo canal para abaratar costos).
- Memoria interna para grabación de un mínimo de 25 de mediciones.
- Pantalla de cristal líquido de gran tamaño con retroiluminación.
- Incorpora acumulador de carga que permite su utilización durante 8 horas de trabajo.
- En casos de emergencia permite la realización de trabajos en conexión a red.
- Permite su utilización como geófono lo que le confiere una cualidad de económico al poder realizar todos los trabajos con un único instrumento.
- Peso de la unidad central: 1.3 kg.
- Dimensiones de la unidad central (12.5 x 18 x 6.5 ancho x alto x fondo).
- Todos los componentes (unidad central, transmisores y accesorios) se presentan en una única maleta de transporte que permite, además, la recarga del sistema en su interior para evitar roturas por golpes o descuidos. La recarga se puede realizar desde la red o desde un vehículo.
- Puerto de comunicación a computadora, para volcado de datos a computadora y posterior emisión de informes (sólo en la versión "Profesional" se incluye el software).

Características técnicas de los radiotransmisores

- Transmisión de la señal vía radio.
- Controlado por microprocesador.
- Información de niveles de ruido, amplificación de señal o estado de la carga del transmisor se envía vía radio a la unidad central para evaluarla allí.
- Calidad de transmisión 500 mW (registro BZT), que le confieren un rango de transmisión superior a los 1,000 m.
- Peso de los transmisores (1.3 kg).
- Dimensiones de los transmisores (12.5 x 19 x 7.3 ancho x alto x fondo)
- Autonomía de trabajo: + de 10 horas.

Características técnicas de los micrófonos

- Acelerómetros piezoeléctricos altamente sensibles.
- Cápsula de acero inoxidable estanca.
- Ajuste de impedancia integrado.
- Cuando los instrumentos no se están utilizando pueden permanecer en estado de carga dado que la técnica de compensación garantiza el funcionamiento constante.

Equipamiento Básico

Existen dos versiones de equipamiento que se detallan a continuación:

Opción "Standard":

- Unidad central de correlación con software Interno "Standard".
- Auriculares estéreo.
- Sistema de recarga de equipos (adaptador HS, fuentes de alimentación, etc.).
- Maleta de transporte.
- Transmisor RT06 canal 2, con potencia de 500 mW.
- Transmisor RT06 canal 1, con potencia de 500 mW.
- Sistema de captación de ruidos (micrófonos de contacto EM30, imanes de sujeción) opción "Profesional".
- Unidad central de correlación con software interno "Profesional".

- Auriculares estéreo.
- Sistema de recarga de equipos capaz, además, de alimentar el sistema en funcionamiento.
- Maleta de transporte con sistema de recarga en su interior.
- Transmisor RT06 canal 2, con potencia de 500 mW.
- Transmisor RT06 canal 1, con potencia de 500 mW.
- Sistema de captación de ruidos (micrófonos de contacto EM30, imanes de sujeción, adaptadores a conexiones de red y de interiores).
- Software y cable de comunicaciones a PC puerto serie.

Accesorios disponibles

Como complemento a los elementos descritos anteriormente puede completar su equipo con los siguientes accesorios:

EM22-10100. Hidrófono para toma de valores a través del agua de la red, modelo HA. Este hidrófono, en contacto permanente con el agua, es capaz de captar fracciones de ruido por debajo de 10 Hz. Esta opción mejora el éxito en tuberías plásticas en más de un 200%. Se necesitan 2 unidades, uno para cada transmisor.

ZD04-10002. Maleta de transporte para los hidrófonos. Capaz de incluir en su interior ambos hidrófonos y todos sus elementos y cables de conexión.

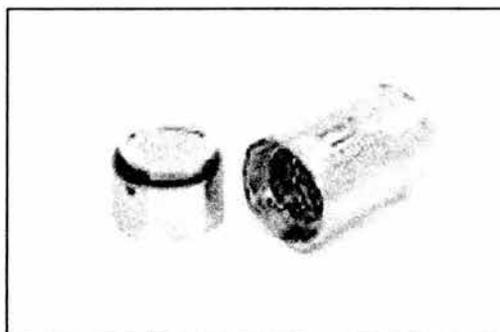
KR06-Z0300. Cassette audio C-60 con distintos ruidos de fuga y conjunto de cables. Con la ayuda de las instrucciones que se adjuntan se pueden practicar todos los casos básicos. Para la instrucción en el funcionamiento del correlador y como señal de prueba para la comprobación de todo el sistema, puede usarse cualquier equipo estéreo normal.

KR06-Z0350 Disco compacto de audio para la misma aplicación que el ítem anterior.

Otros equipos:



5. Sistema de prelocalización de fugas de agua SePem 02



Aplicación

Sistema desarrollado para la prelocalización de fugas de agua en red. Su concepción es múltiple ya que permite la captación de otro tipo de datos de interés para el operador como, por ejemplo, presión de red y caudal. Posibilidad de almacenamiento de datos para su posterior volcado o de envío de los mismos vía GSM.

Características principales

Los sistemas de escucha nocturna se han destacado como una alternativa rentable, debido a su bajo costo, para la prelocalización de fugas de agua. Los

captadores miden la intensidad de sonido durante las horas nocturnas. Si se analizan los sonidos más bajos durante ese período podremos obtener datos de interés: un nivel muy bajo de valores indican la imposibilidad de existencia de fugas en esa zona. Una relación de sonidos altos nos alertan sobre la posible presencia de fuga en esa área.

Los SePem 02 pueden ser utilizados de dos modos:

- Lecturas periódicas en determinados puntos. Se trata de establecer ciclos de medición de diversos puntos. El software permite comparar en el tiempo la evolución de los sonidos en esos lugares.
- Cada SePem 02 ofrece, además, la posibilidad de ser utilizado de forma estacionaria. Es decir, de fijarlos en un punto y analizar diariamente la información captada. Esto es posible debido al módulo de envío de datos GSM que se ofrecerá muy pronto como opción.

Características específicas

- **SePem K.** El SePem K lo constituye la unidad central de almacenamiento de datos. Este logger presenta 4 canales y tiene una capacidad de 1 Mbyte. Su filosofía de diseño es la de un largo aprovechamiento por los siguientes motivos:
 - Puede ser usado para diversos propósitos: En efecto, las cápsulas de medida son intercambiables. En la actualidad está disponible la cápsula de escucha de sonidos. En breve plazo estará disponible la de medición de presión. En un plazo mayor se ha previsto el desarrollo de la de caudal.
 - Su sistema de baterías es variable. Pueden utilizarse baterías recargables o, simplemente, pilas alcalinas. En cualquier caso el propio usuario puede proceder al mantenimiento de los equipos en lo que a este aspecto se refiere. Construido en acero inoxidable de alta graduación, puede ser sumergible hasta 1 metro de columna de agua (protección IP68). La captación de sonidos puede ser ajustable

a desde 1 valor por milisegundo hasta 1 valor por minuto. Peso aproximado 980 gramos. Dimensiones: 100 mm x 55 mm.

- **SePem G.** Lo constituye la cápsula de captación de sonidos. Sistema de gran sensibilidad. No es necesario que esté en contacto con el agua. A través de sus diversos accesorios permite su instalación en bocas de incendio, hidrantes, válvulas, etc.
- **Software.** El software de comunicaciones y evaluación de resultados ofrece múltiples posibilidades. No sólo permite el volcado y visión de los resultados sino también una práctica administración de los mismos, de los puntos de medida y generación de listas y clasificaciones de medidas y puntos. Sus posibilidades son:
 - Lectura:
 - Reconocimiento automático del logger conectado.
 - Presentación de datos en una tabla.
 - Dicha tabla puede ser editada en función de las necesidades o gustos del usuario.
 - La permanente monitorización de los parámetros de comunicación durante la lectura optimiza la seguridad de la operación.
 - Posibilidad de edición de valores a bases de datos internas.
 - Evaluación:
 - Los sonidos reales son almacenados y pueden ser escuchados si se dispone de tarjeta de sonido.
 - Diversos gráficos para el análisis de los noveles:
 - Histogramas.
 - Espectros de frecuencia Transformada Rápida de Fourier.
 - Niveles por cronología.
 - Niveles por intensidad, etc.

- **Diagnosis**
 - A través del software de comunicaciones.
 - Unos leds permiten la comprobación de funciones en campo sin necesidad de conexión alguna (ni GSM, ni conexión a Computadora).

Equipamiento básico

El sistema se recomienda con los elementos que se describen a continuación. Sin embargo pueden sustituirse algunos de sus componentes según la elección del usuario (por ejemplo, el adaptador de carga de maleta en vez del adaptador de carga de caja apilable, etc.).

- Unidad SePem. Cada unidad dispone de batería recargables (pilas alcalinas también pueden ser utilizadas).
- Adaptador magnético. Para su sujeción a cualquier tipo de accesorio metálico de la tubería.
- Adaptador de carga en sistema caja apilable. Diseñado para 6 unidades. (otro diseñado en forma de maleta está también disponible).
- Cable de comunicaciones a Computadora y cables inter adaptadores de carga.
- Fuentes de alimentación.
- Software SePem 02. Los requerimientos mínimos de la Computadora son: Pentium II, 350 MHz, 128 MBRAM. Los requerimientos recomendados son: Pentium III, 600 MHz y 256 MB RAM. Sistemas operativos: Windows 98, ME, NT 4.0, 2000, XP.

Accesorios disponibles

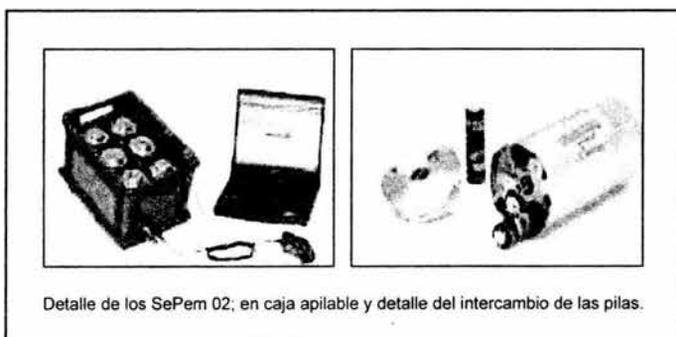
Se dispone de una amplia gama de accesorios entre los que destacamos los siguientes:

- Diversos adaptadores a red: De plato para hidrante, combinado, magnético de aro, etc.
- Cable de carga para conexión a vehículo.

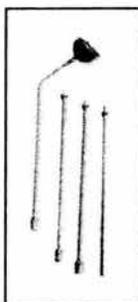
DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

- Sistema de impulsos: Permite la obtención de algunas informaciones a través de leds sin necesidades de conexión a la Computadora (estado de carga, estado de memoria, etc.).
- Caja de Transporte con interior de goma espuma diseñada para 12 unidades.
- Sistemas de carga tipo caja apilable (de serie) o tipo maleta.
- Cables para conexión de diversas cajas de carga en serie.

Otros equipos:



6. Bastón de escucha acústica modelo W50



Aplicación

Varilla acústica desarrollada para la realización de escuchas en elementos de la red de distribución de agua accesibles desde la superficie.

Se trata del elemento básico para cualquier cuadrilla de trabajo en las empresas abastecedoras de agua.

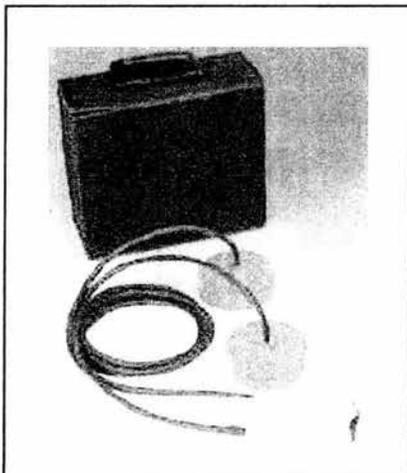
Características principales

Este bastón equipa en su interior una membrana capaz de amplificar señales y sonidos de los elementos sobre los que se entre en contacto. Se compone de diversos elementos que se van conectando según la altura del operario, convirtiéndose de este modo, en una herramienta muy cómoda.

Equipamiento básico

El suministro incluye, de serie, el bastón completo subdividido en sus cuatro elementos inter conectables entre sí y su maleta de transporte.

7. Membrana acústica modelo W49



Aplicación

Membrana acústica para ampliación de sonidos en superficie.

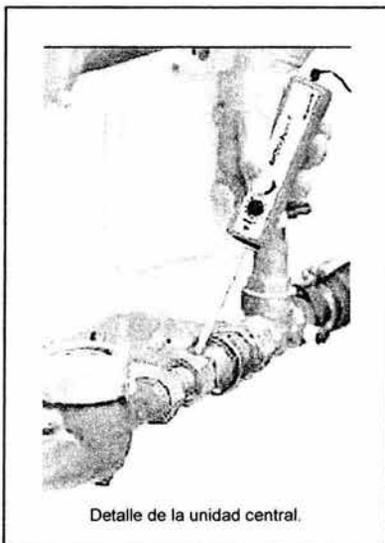
Características principales

Este sistema se ha diseñado para la captación, de modo muy simple y sencillo, de los sonidos producidos en el subsuelo. El sistema se compone de dos membranas que se van posicionando sobre la superficie del suelo recogiendo y amplificando los sonidos que allí se originan.

Equipamiento básico

El suministro incluye, de serie, las membranas completas con su maletín de transporte.

8. Equipo portátil para localización de fugas de agua en interiores Stetophon P.



Aplicación

Instrumento para la localización exacta de las fugas de agua en interiores por medio del sistema electro acústico.

Otra aplicación práctica es la de detección de los parásitos de la madera debido a su gran capacidad acústica.

Características principales

Equipo portátil de construcción compacta y de sencillo manejo. Su principio de medición es el siguiente:

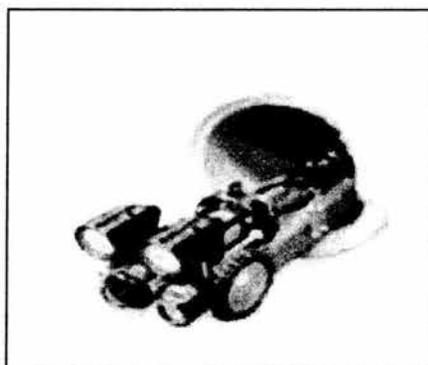
Todas las fugas en tuberías con presión producen un sonido. El Stetophon P. incluye un sistema de amplificación de sonidos electro acústico. La sonda de

contacto suministrada con el equipo se desplaza por la superficie de la pared o suelo sobre la tubería de abastecimiento. A través de sus auriculares escuchamos los sonidos de su interior pudiendo determinar, de este modo, la situación exacta de la fuga.

Equipamiento básico

El equipo se suministra con sonda de contacto, auriculares y bolsa de transporte.

9. Robot detector de fugas de agua



Aplicación

Se aplica a todo tipo de tuberías o conductos en general con un diámetro que oscila entre 50 milímetros y 3 metros.

Equipamiento básico

Cámara de video.

ANEXO B

TABLA DE RUGOSIDADES ABSOLUTAS EN TUBOS COMERCIALES

ANEXO B

RUGOSIDAD ABSOLUTA "ε" EN TUBOS COMERCIALES

Material	ε en mm
<i>Tubos lisos.</i>	
De vidrio, cobre, latón, madera, acero nuevo, plástico, hule.	0.0015
Tubos industriales de latón.	0.025
Tubos de madera.	0.2 a 1
Hierro forjado.	0.05
Fierro fundido nuevo.	0.25
Fierro fundido con protección interior de asfalto.	0.12
Fierro fundido oxidado.	1 a 1.15
Fierro fundido con incrustaciones.	1.5 a 3
Fierro fundido centrifugado.	0.05
Fierro fundido nuevo con bridas o juntas de macho y campana.	0.15 a 0.3
Fierro fundido para agua potable de diámetro de 50 a 125 mm.	1 a 4
Fierro galvanizado.	0.15
Acero rolado nuevo.	0.05
Acero laminado.	0.04 a 0.1
Acero laminado con protección interior.	0.05
<i>Tubos de acero soldado de calidad normal.</i>	
Nuevo.	0.05 a 0.1
Limpado después de mucho uso.	0.15 a 0.2
Moderadamente oxidado con pocas incrustaciones.	0.4
Con muchas incrustaciones.	3
Con remaches transversales en buen estado.	0.1
Con costura longitudinal y una línea transversal de remaches.	0.3 a 0.4
Con líneas transversales de remaches sencilla o doble.	0.6 a 0.7
Acero soldado con una hilera transversal sencilla de pernos.	1
Acero soldado con doble línea transversal de pernos.	1.2 a 1.3
Acero soldado con costura doble de remaches.	2

Fuente: "Hidráulica General" Sotelo Ávila Gilberto, Editorial Limusa México 1990.

ANEXO C

REGLAMENTO DE LA LEY DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE DEL ESTADO DE MÉXICO EN MATERIA DE IMPACTO Y RIESGO AMBIENTAL

ANEXO C

El presente anexo consta de dos apartados, uno de los cuales está integrado por: el Reglamento de la Ley de Protección al Ambiente del Estado de México en materia de impacto y riesgo ambiental. El otro se refiere a Conceptos fundamentales de impacto ambiental.

I. REGLAMENTO DE LA LEY DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE DEL ESTADO DE MÉXICO EN MATERIA DE IMPACTO Y RIESGO AMBIENTAL

CAPÍTULO I DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1. El presente ordenamiento es de observancia general en el territorio del Estado de México y tiene por objeto proveer en la esfera administrativa, al cumplimiento de la Ley de Protección al Ambiente en materia de impacto y riesgo ambiental.

Artículo 2. La aplicación de este Reglamento compete al Ejecutivo del Estado por conducto de la Secretaría de Ecología, sin perjuicio de las atribuciones que correspondan a otras autoridades, de conformidad con las disposiciones legales vigentes.

Artículo 3. Para los efectos de la aplicación y observancia de las disposiciones contenidas en este Reglamento, se deber entender por:

Estudio de riesgo. Documento mediante el cual se da a conocer, con base en un análisis de las acciones proyectadas para el desarrollo y operación de una obra o la realización de una actividad, el daño potencial que dichas obras o actividades representen para la población, sus bienes y el ambiente en general, así como las medidas técnicas de seguridad y operación preventivas y correctivas, tendientes a

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

evitar, mitigar, minimizar o controlar dichos daños en caso de un posible accidente, durante la ejecución y operación de la obra o actividad de que se trate.

Evaluación del impacto ambiental. Acto de autoridad que consiste en valorar las modificaciones que la realización de alguna obra o actividad puede producir en el ambiente.

Informe Preventivo. Documento mediante el cual se da a conocer la descripción generalizada de alguna obra o actividad y del sitio en que se pretende desarrollar, las sustancias, elementos y productos que vayan a emplearse y a generarse en su realización y los procedimientos para el uso y disposición final de los mismos.

Ley. Ley de Protección al Ambiente del Estado de México.

Manifestación de impacto ambiental. Documento mediante el cual se da a conocer, con base en estudios de investigación; así como el análisis de las acciones proyectadas para el desarrollo y operación de una obra o la realización de una actividad, la modificación significativa y potencial del ambiente, que generar a dicha obra o actividad, así como las medidas de prevención y mitigación tendientes a evitarlo.

Medidas de prevención y mitigación. Conjunto de disposiciones y acciones anticipadas, que tienen por objeto evitar o reducir los impactos ambientales que pudieran ocurrir en cualquier etapa del desarrollo de una obra o actividad.

Medidas técnicas de seguridad y de operación. Conjunto de disposiciones y acciones anticipadas, que tienen por objeto evitar, mitigar, minimizar o controlar, los posibles daños ambientales que se deriven de un accidente.

Obra o actividad riesgosa. Las que por su naturaleza, tipo de materiales y sustancias que emplea o genera o por los procesos que utiliza, de presentarse un accidente o un suceso eventual no previsto, independientemente de sus causas, pone en peligro la integridad de los ecosistemas y de la población existentes en la zona en donde se ubica o de sus alrededores.

Reglamento. Reglamento de la Ley de Protección al Ambiente del Estado de México en Materia de Impacto y Riesgo Ambiental.

Secretaría. La Secretaría de Ecología.

Artículo 4. En materia de impacto y riesgo ambiental compete a la Secretaría:

- I. Evaluar el impacto y riesgo ambiental de las obras y actividades, públicas o privadas, a que se refiere el artículo 5° y 24 del Reglamento y autorizar su realización cuando proceda en términos de las disposiciones jurídicas aplicables.
- II. Promover ante las autoridades competentes, la realización de estudios de impacto y riesgo ambiental, previos al otorgamiento de permisos, autorizaciones y concesiones para realizar obras y actividades, independientemente de su naturaleza, cuando existan elementos que permitan prever deterioro de ecosistemas o del ambiente.
- III. Establecer el procedimiento administrativo para la consulta pública de los expedientes de evaluación del impacto y riesgo ambiental que sean de su competencia.
- IV. Expedir y difundir los instructivos necesarios para la debida observancia del Reglamento y gestionar su publicación en la Gaceta del Gobierno del Estado, en su caso.
- V. Llevar el registro y control de los prestadores de servicios que realicen estudios de impacto y riesgo ambiental, y determinar los requisitos y procedimientos de carácter técnico y administrativo que estos deberán satisfacer para su inscripción en dicho registro.
- VI. Prestar asistencia técnica a las autoridades del Estado y de los Municipios que requieran elaborar estudios de impacto y de riesgo ambiental.
- VII. Vigilar el cumplimiento de las disposiciones de la Ley y del Reglamento, la observancia de las resoluciones, autorizaciones y dictámenes que emita e imponer sanciones, las medidas de prevención y mitigación y las medidas de seguridad y operación previstas en las disposiciones legales aplicables.

- VIII. Celebrar acuerdos y convenios de coordinación con las autoridades federales y municipales, así como con personas físicas o morales de carácter privado, respecto a las materias que contempla el presente Reglamento, y:
- IX. Las demás previstas en la Ley, el Reglamento y en otras disposiciones aplicables.

Artículo 5. Deberán contar con autorización previa de la Secretaría, en materia de impacto y riesgo ambiental, las personas físicas o morales que pretendan realizar obras o actividades, sean públicas o privadas, que puedan causar deterioro ambiental, desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones señaladas en la Ley, sus Reglamentos y en las normas técnicas y criterios que emita la federación o la propia Secretaría.

Artículo 6. Para efectos del artículo anterior, son obras y actividades que para su autorización deberán sujetarse al procedimiento de evaluación del impacto ambiental y en su caso, al de riesgo ambiental las siguientes:

- I. Establecimiento, operación y ampliación de industrias de competencia estatal.
- II. Parques industriales, clubes deportivos, estadios, centros comerciales, panteones, rastros y centrales de abasto.
- III. La obra pública estatal y municipal que se pretenda realizar en zonas rurales o fuera de las delimitadas como urbanas por los programas de desarrollo urbano y las declaratorias de uso del suelo correspondientes.
- IV. Caminos y vialidades, cuando se tenga contemplado el tránsito de vehículos automotores.
- V. Desarrollos turísticos estatales y municipales.
- VI. Instalación y operación de centros de confinamiento o de tratamiento de residuos hospitalarios e industriales de competencia del Estado.
- VII. Instalación y operación de estaciones de transferencia, plantas de tratamiento y sitios para la disposición final de los residuos sólidos municipales.

- VIII. Fraccionamientos, unidades habitacionales y nuevos centros de población.
- IX. Aprovechamiento de los minerales o sustancias que constituyan depósitos de naturaleza semejante a los componentes de los terrenos, tales como rocas o productos de su descomposición que se lo puedan utilizarse para la fabricación de materiales para la construcción u ornamento.
- X. Las que pretendan realizarse dentro de las áreas naturales protegidas competencia del Estado.
- XI. Las que se trasladen de la Federación al Estado mediante acuerdos y convenios de coordinación, así como aquéllas que a criterio de los municipios se requieran evaluar para efecto de evitar deterioro ambiental, y;
- XII. Las demás que determine la Secretaría.

Artículo 7. Los municipios podrán asumir atribuciones de la Secretaría en materia de impacto y riesgo ambiental, mediante la celebración de convenios de coordinación. Independientemente de lo dispuesto en el párrafo anterior, las autoridades municipales podrán desempeñarse como coadyuvantes de la Secretaría a efecto de lograr la debida observancia de la Ley y de este Reglamento.

CAPÍTULO II DEL PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO Y RIESGO AMBIENTAL

Artículo 8. Para obtener la autorización a que se refiere el artículo 5° del Reglamento, en forma previa a la realización de la obra o actividad de que se trate, el interesado o su representante legal, deberá presentar ante la Secretaría la solicitud correspondiente, anexando un informe preventivo en el que se precisen los datos que permitan identificar el tipo de obra o actividad que pretende desarrollar.

Artículo 9. Una vez recibida por la Secretaría la documentación a que se refiere el artículo anterior, procederá a determinar, dentro del plazo de quince días hábiles, si la obra o actividad de que se trate requiere de la presentación de manifestación de impacto ambiental y en su caso, del estudio de riesgo correspondiente.

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

De no requerirse la presentación de manifestación de impacto ambiental, ni del estudio de riesgo, la Secretaría lo comunicará al interesado dentro del plazo que marca el párrafo anterior.

Artículo 10. De determinar la Secretaría que es procedente la presentación de la manifestación de impacto ambiental y en su caso, del estudio de riesgo, lo hará del conocimiento del interesado por vía de notificación personal, concediéndole el plazo que estime pertinente para su presentación.

Artículo 11. Las obras y actividades definidas como riesgosas en este Reglamento, para su autorización, requerirán que previamente, la Secretaría evalúe el estudio de riesgo correspondiente.

Artículo 12. Recibida la manifestación de impacto ambiental y el estudio de riesgo, de ser procedente, la Secretaría realizará el análisis de la información proporcionada por el interesado y de ajustarse a los requisitos previstos en este Reglamento, procederá a dictar la resolución correspondiente en un plazo que no deberá exceder de sesenta días hábiles, mismo que podrá ampliarse hasta treinta días más, sólo en aquellos casos en que la resolución dependa de la opinión de otros organismos o autoridades, o que se haya requerido información adicional al interesado.

Artículo 13. De estimarlo necesario, la Secretaría podrá requerir al interesado mediante notificación personal, por una sola vez, la presentación de información complementaria que le permita evaluar adecuadamente los impactos y los riesgos que se puedan derivar de la realización de las obras o actividades, teniendo el solicitante un plazo de quince días hábiles, contados a partir de la fecha en que se haya realizado la notificación señalada, para desahogar el requerimiento a que se refiere este párrafo.

De no presentar el interesado la información adicional que le requiera la Secretaría dentro del plazo fijado en el párrafo anterior, se procederá a desechar de plano la solicitud de autorización.

Artículo 14. El informe preventivo a que se refiere el artículo 8° del Reglamento, se deberá elaborar conforme a los instructivos que para ese efecto expida la Secretaría y deberá contener como mínimo la siguiente información:

- I. Datos generales de quien pretenda realizar la obra o actividad proyectada o en su caso, de quien hubiere ejecutado los proyectos o estudios previos correspondientes.
- II. Descripción de la obra o actividad proyectada y del sitio en donde se pretende desarrollar, y:
- III. Descripción de las sustancias o productos que vayan a emplearse en la ejecución de la obra o actividad proyectada y los que en su caso, vayan a obtenerse o a generarse como resultado de dicha obra o actividad, incluyendo emisiones a la atmósfera, descargas de aguas residuales y tipo de residuos y procedimientos para su disposición final.

Artículo 15. La manifestación de impacto ambiental, en relación con el proyecto de obra o actividad de que se trate, deberá contener como mínimo la siguiente información:

- I. Nombre, denominación o razón social, nacionalidad y domicilio de quien pretenda llevar a cabo la obra o actividad objeto de la manifestación.
- II. Descripción de la obra o actividad proyectada, desde la etapa de selección del sitio; la superficie de terreno requerido; el programa de construcción, montaje de instalaciones y operación correspondiente; el tipo de actividad, volúmenes de producción previstos e inversiones necesarias; la clase y cantidad de recursos naturales que habrán de aprovecharse, tanto en la etapa de construcción como en la operación de la obra o el desarrollo de la actividad; el programa para el manejo de residuos, tanto en la construcción y montaje como durante la operación o desarrollo de la obra o actividad y el programa para el abandono de las obras o el cese de las actividades.
- III. Aspectos generales del medio natural y socioeconómico del área donde pretenda desarrollarse la obra o actividad.

**DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS
EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE**

- IV. Vinculación con las normas y regulaciones sobre el uso del suelo del área correspondiente.
- V. Identificación y descripción de los impactos ambientales que ocasionaría la ejecución del proyecto o actividad en sus distintas etapas, y:
- VI. Medidas de prevención y mitigación para los impactos ambientales identificados en cada una de las etapas.

Artículo 16. El estudio de riesgo, en relación con el proyecto de obra o actividad de que se trate, deberá contener como mínimo la siguiente información:

- I. Nombre, denominación o razón social, nacionalidad y domicilio de quien pretenda llevar a cabo la obra o actividad del estudio.
- II. Propiedades de las materias primas, productos y subproductos utilizados en la obra o actividad.
- III. Características de operación y antecedentes de riesgo de la obra o actividad.
- IV. Identificación y jerarquización de los riesgos ambientales de la obra o actividad.
- V. Definición de áreas de protección y medidas de seguridad y operación.
- VI. Descripción de los riesgos potenciales de accidentes ambientales en cada etapa de la obra o actividad.
- VII. Información sobre el diseño de los sistemas de prevención y control de accidentes.
- VIII. Información sobre el análisis y evaluación de los riesgos de la obra o actividad.
- IX. Determinación de las áreas potencialmente afectadas, en caso de accidentes, y:
- X. Información sobre los planes de emergencia y auditorías de seguridad.

Artículo 17. En la resolución que dicte la Secretaría podrá autorizarse la ejecución de la obra o la realización de la actividad, en los términos solicitados; negarse dicha autorización u otorgarse de manera condicionada a la modificación del proyecto de obra o actividad, a fin de que se eviten o atenúen los impactos

ambientales adversos susceptibles de ser producidos en la operación normal y aun en caso de accidente.

Cuando se trate de autorizaciones condicionadas, la propia Secretaría señalará los requerimientos que deberán observarse para la ejecución de la obra o la realización de la actividad prevista.

Artículo 18. En la evaluación de toda manifestación de impacto ambiental y de los estudios de riesgo, se considerarán entre otros los siguientes elementos:

- I. El reordenamiento ambiental;
- II. Las declaratorias de Áreas Naturales Protegidas y sus programas de manejo.
- III. Los criterios ecológicos para la protección y aprovechamiento racional de los elementos naturales y para la protección al ambiente.
- IV. La regulación ecológica y ambiental de los asentamientos humanos, y:
- V. Lo dispuesto en la Ley y sus Reglamentos, en las Normas Técnicas vigentes y en las demás disposiciones complementarias.

Artículo 19. Para la evaluación de la manifestación de impacto ambiental de obras o actividades que por sus características se haga necesaria la intervención de otras dependencias o entidades de la administración pública, la Secretaría podrá solicitar a éstas la formulación de un dictamen técnico al respecto.

Artículo 20. La Secretaría, determinará y publicará en la Gaceta del Gobierno del Estado, los listados de las obras y actividades que deban considerarse riesgosas y que para obtener la autorización a que se refiere el artículo 5° del Reglamento, estarán sujetas a la presentación de un estudio de riesgo.

Artículo 21. Todo interesado que desista de ejecutar una obra o realizar una actividad sujeta a autorización de impacto ambiental, deberá comunicarlo a la Secretaría en los siguientes términos:

- I. Durante el procedimiento de evaluación de impacto ambiental, antes de que se le haya notificado la autorización correspondiente, y:

Estado, deberán contar con autorización previa de la Secretaría en materia de impacto ambiental, cuando conforme a las declaratorias respectivas corresponda a la misma la conservación, administración, desarrollo o vigilancia de las áreas de que se trate.

Artículo 25. Los interesados en obtener la autorización a que se refiere el artículo anterior, en forma previa a la realización de la actividad de que se trate, presentarán a la Secretaría una manifestación de impacto ambiental, de acuerdo a los instructivos que al efecto se expidan.

Artículo 26. La Secretaría evaluará la manifestación de impacto ambiental y dentro de los sesenta días hábiles siguientes a su presentación emitirá la resolución correspondiente.

CAPÍTULO IV DE LA CONSULTA DE LOS EXPEDIENTES DE EVALUACIÓN DE IMPACTO Y RIESGO AMBIENTAL

Artículo 27. Presentada la manifestación de impacto ambiental y satisfechos los requerimientos de información que en su caso se hubieren exigido, se publicará un aviso de la presentación de la manifestación de que se trate. Los gastos que se causen por dicha publicación serán pagados por quien solicite la evaluación de impacto ambiental correspondiente.

Una vez integrado el expediente y realizada la publicación a que se refiere el párrafo anterior, éste quedará a disposición del público para su consulta.

Para efectos de lo dispuesto en este artículo se entenderá por expediente la documentación consistente en la manifestación de impacto ambiental, el estudio de riesgo, de haberse requerido, la información adicional que en su caso se hubiere presentado y la resolución de la Secretaría en la que se comunique la evaluación respectiva.

Artículo 28. Los interesados en obtener alguna autorización en materia de impacto y riesgo ambiental, podrán solicitar que se mantenga en reserva información que haya sido integrada al expediente, y que de hacerse pública,

podiera afectar derechos de propiedad industrial o intereses lícitos de naturaleza mercantil.

La Secretaría podrá requerir a los interesados que justifiquen la titularidad de los derechos de propiedad industrial o intereses lícitos mercantiles invocados para mantener en reserva confidencial información que haya sido integrada al expediente.

Artículo 29. La consulta de los expedientes podrá realizarse previa identificación del interesado, en horas y días hábiles, en el local que para dicho efecto establezca la Secretaría.

CAPÍTULO V DE LA DENUNCIA CIUDADANA

Artículo 30. Cualquier persona que considere que en la realización de obras o actividades que se lleven a cabo se excedan los límites y condiciones establecidas en la Ley y demás disposiciones complementarias emitidas para la protección al ambiente, lo hará del conocimiento de la Secretaría y ésta requerirá a quienes lleven a cabo dicha obra o actividad, en caso de juzgarlo necesario, la presentación de una manifestación de impacto ambiental o del estudio de riesgo respecto de tales obras o actividades.

En la denuncia correspondiente se señalarán los datos de identificación del denunciante, así como la información que permita localizar el lugar en que se ejecute o lleve a cabo la obra o actividad, exponiendo las razones que soporten la denuncia.

Artículo 31. Recibida la denuncia a que se refiere el artículo anterior y calificada como procedente por parte de la Secretaría, se hará del conocimiento del supuesto infractor, requiriéndosele para que en un plazo no mayor de quince días hábiles, contados a partir de la notificación correspondiente, manifieste lo que a su derecho convenga.

La Secretaría podrá llevar a cabo las verificaciones y diligencias que juzgue pertinentes, así como requerirá quienes realizan la obra o actividad materia de la denuncia para que presenten un informe al respecto.

La Secretaría analizará el informe previsto en el párrafo anterior y en un plazo no mayor de treinta días hábiles, comunicará a la persona contra la cual se presentó la denuncia, la resolución correspondiente.

En tanto la Secretaría notifica dicha resolución previa audiencia de los interesados, podrá ordenar como medida de seguridad la suspensión de la ejecución de la obra o actividad denunciada cuando exista riesgo ambiental, de desequilibrio ecológico, de contaminación con repercusiones para los ecosistemas o sus componentes, la salud pública, o bien se generen afecciones al ambiente, independientemente de las sanciones administrativas que procedan.

Artículo 32. Cuando por cualquier causa no se lleve a cabo una obra o actividad en los términos de la autorización otorgada en materia de impacto y riesgo ambiental, la Secretaría ordenará la suspensión de la ejecución de la obra o actividad de que se trate, procediendo a evaluar las causas y consecuencias del incumplimiento y en su caso, a imponer las sanciones administrativas que correspondan, sin perjuicio de otras acciones legales que procedan.

CAPÍTULO VI DEL REGISTRO Y CONTROL DE LOS PRESTADORES DE SERVICIOS EN MATERIA DE IMPACTO Y RIESGO AMBIENTAL

Artículo 33. La Secretaría establecerá un registro y control estatal al que deberán inscribirse los prestadores de servicios que realicen estudios de impacto y riesgo ambiental.

Artículo 34. Para los efectos del artículo anterior, las personas interesadas, ya sean físicas o morales, podrán inscribirse en dicho registro, mediante solicitud que deberán presentar por escrito ante la Secretaría, aportando la información y documentos siguientes:

**DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS
EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE**

- I. Datos generales del interesado.
- II. Capacidad legal del solicitante.
- III. Acreditación de experiencia y capacidad técnica para la realización de estudios de impacto y riesgo ambiental, y:
- IV. Los demás documentos e información que en su caso requiera la Secretaría. La Secretaría tendrá la facultad para practicar en cualquier momento, las investigaciones que considere pertinentes para verificar la capacidad y aptitud de los prestadores de servicios para realizar las manifestaciones de impacto ambiental y los estudios de riesgo a que se refiere la Ley y el Reglamento.

Artículo 35. La Secretaría, dentro de un término que no excederá de quince días hábiles, contados a partir de la fecha de recepción de la solicitud, resolverá sobre la inscripción en el registro del prestador de servicios de que se trate.

Artículo 36. La vigencia del registro será por un año, prorrogable mientras el interesado cumpla con las condiciones previstas en el Reglamento, reservándose la Secretaría la facultad de suspenderlo o cancelarlo.

Artículo 37. Son causas de suspensión del registro a que se refiere el presente Reglamento, las siguientes:

- I. Se negare el prestador del servicio, injustificadamente, a dar las facilidades necesarias a la Secretaría, para que ésta ejerza sus funciones de verificación a que se refiere el último párrafo del artículo 34 del Reglamento, y;
- II. Deje de reunir alguno de los requisitos necesarios para estar registrado.

Artículo 38. Son causas de cancelación de dicho registro las siguientes:

- I. Que la información que hubiere proporcionado el prestador del servicio para su inscripción en el registro sea falsa o notoriamente incorrecta.
- II. Se incluya información falsa o incorrecta en las manifestaciones de impacto ambiental o en los estudios de riesgo que realicen.

- III. Se le declare incapacitado legalmente al prestador del servicio, para ejercer la profesión que desempeñe.
- IV. Por presentar de tal manera la información de las manifestaciones de impacto ambiental y de los estudios de riesgo que realicen, que se induzca a la autoridad competente a error o incorrecta apreciación en la evaluación correspondiente, y:
 - v. Reincida el prestador del servicio en alguna de las causas de suspensión, señaladas en el artículo 37 de este Reglamento.

Artículo 39. Las personas inscritas en el registro, deberán comunicar en cualquier tiempo a la Secretaría las modificaciones relativas a su capacidad técnica.

Artículo 40. Es requisito indispensable para que la Secretaría proceda a evaluar manifestaciones de impacto ambiental y estudios de riesgo, que los mismos hayan sido elaborados por personas que acrediten estar inscritas en el registro a que se refiere el presente Reglamento.

Para los efectos del párrafo anterior, la Secretaría podrá requerir a los prestadores de servicios registrados, ratifiquen que los estudios de impacto y riesgo ambiental que se presentaron para la obtención de alguna autorización, fueron elaborados por ellos.

CAPÍTULO VII MEDIDAS DE SEGURIDAD

Artículo 41. La Secretaría podrá resolver, cuando se declare alguna zona como crítica; se presenten emergencias o contingencias ambientales, o existan riesgos de daños a la población o al ambiente, la suspensión, provisional o definitiva, de los efectos de las autorizaciones de impacto y riesgo ambiental que haya expedido.

La referida medida de seguridad podrá levantarse cuando se hubieren superado o corregido las condiciones adversas señaladas en el párrafo anterior.

CAPÍTULO VIII INSPECCIÓN Y VIGILANCIA

Artículo 42. La Secretaría podrá ordenar la realización de visitas de inspección para verificar el cumplimiento de la Ley, del Reglamento y demás disposiciones aplicables, en los términos que establece el capítulo 1 del Título Sexto de la Ley.

Artículo 43. En uso de sus facultades de inspección y vigilancia, la Secretaría podrá verificar en cualquier momento que la obra o actividad de que se trate se realice o se haya realizado de conformidad con lo que disponga la autorización respectiva, los ordenamientos legales y reglamentarios y las normas técnicas aplicables.

CAPÍTULO IX SANCIONES

Artículo 44. Las infracciones de carácter administrativo a los preceptos de la Ley y al presente Reglamento, serán sancionadas por la Secretaría en términos del capítulo III del Título Sexto de la Ley.

Artículo 45. Cuando proceda la clausura temporal o definitiva, parcial o total, como sanción, el personal comisionado para ejecutarla procederá a levantar acta detallada de la diligencia, siguiendo para ellos los lineamientos generales establecidos para las inspecciones.

Subsanadas las deficiencias o irregularidades que se hubieren cometido, se podrá levantar la clausura que se haya impuesto.

Artículo 46. Cuando la gravedad de la infracción lo amerite, la Secretaría promoverá la suspensión, revocación o cancelación de concesiones, permisos, licencias y en general de toda autorización, diversa de la de impacto y riesgo ambiental, que haya sido otorgada para la realización de las obras y actividades a que se refiere este Reglamento, cuando hayan dado lugar a infracción de las disposiciones de la Ley y del propio Reglamento.

Artículo 47. Si una vez impuestas las sanciones a que se refiere la Ley y vencido el plazo concedido para subsanar la o las infracciones cometidas, resultara que éstas subsisten, podrán imponerse multas por cada día que transcurra sin

obedecer el mandato, sin que el total de las mismas exceda de veinte mil días de salario mínimo vigente en el Estado dentro de la zona económica de que se trate al momento de imponerlas.

En caso de reincidencia, el monto de la multa podrá ser hasta por dos veces el monto originalmente impuesto, sin exceder el máximo permitido.

Artículo 48. La violación a las disposiciones de la Ley y de este Reglamento, en materia de impacto y riesgo ambiental, que se realicen en casos de contingencia ambiental o en zonas declaradas como críticas, serán sancionadas como infracciones graves.

CAPÍTULO X RECURSOS

Artículo 49. El recurso en contra de los actos de aplicación del presente Reglamento se interpondrá y resolver de acuerdo con lo dispuesto en el Título Sexto, Capítulo IV de la Ley.

TRANSITORIOS

Primero. El presente Reglamento entrará en vigor al día siguiente de su publicación en la Gaceta del Gobierno del Estado.

Segundo. Se derogan todas las disposiciones administrativas que se opongan a lo dispuesto por el presente Reglamento.

Tercero. La Secretaría expedirá los formatos, instructivos y manuales que sean necesarios para el cumplimiento de las disposiciones del presente Reglamento.

Cuarto. En los casos de obras o actividades que se estén realizando al momento de iniciarse la vigencia del presente ordenamiento, siempre que se trate de las comprendidas en el artículo 5° del mismo, la Secretaría podrá requerir a quienes les pertenezcan o lleven a cabo, para que presenten la manifestación de impacto ambiental y el estudio de riesgo, de ser procedente, dentro de un plazo no mayor a treinta días hábiles contados a partir de la fecha de notificación del requerimiento respectivo.

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Presentada la manifestación de impacto ambiental y el estudio de riesgo, de ser procedente, y en su caso, satisfechos los requerimientos de información adicional que se hubieren efectuado, la Secretaría procederá a la evaluación correspondiente. En la resolución que formule, identificará y evaluará los impactos ambientales adversos que se ocasionen y señalará las medidas de prevención y mitigación y las medidas técnicas de seguridad y operación que deban llevarse a cabo para prevenir, reducir y abatir los impactos y riesgos que se puedan producir o que se estén generando.

Quinto. En tanto se expide el listado de obras y actividades riesgosas a que se refiere este Reglamento, la Secretaría podrá requerir la presentación del estudio de riesgo a aquellas que según su criterio se encuentren contempladas en la definición que al respecto establece el propio Reglamento.

II. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE IMPACTO AMBIENTAL

Estudio de Impacto Ambiental. Es la evaluación que permite planificar ambientalmente los programas y proyectos, para tomar decisiones no sólo con criterios financieros, sino bajo parámetros sociales y ambientales como elemento vital del diseño. Es el documento técnico que debe presentar el titular del proyecto, este estudio deberá identificar, describir y valorar de manera apropiada, en función de las particularidades de cada caso concreto, los efectos notables previsibles que la realización del proyecto produciría sobre los distintos aspectos ambientales.

Otra definición de Estudio de Impacto Ambiental es: Estudio técnico, de carácter interdisciplinar, que incorporado en el procedimiento de la Evaluación de Impacto Ambiental, está destinado a predecir, identificar, valorar y corregir, las consecuencias o efectos ambientales que determinadas acciones pueden causar sobre la calidad de vida del hombre y su entorno.

El Estudio de Impacto Ambiental es un elemento de análisis que interviene de manera esencial en cuanto a dar información en el procedimiento administrativo que es la Evaluación de Impacto Ambiental, y que culmina con la Manifestación de

Impacto Ambiental. Se trata de presentar la realidad objetiva, para conocer en qué medida repercutirá sobre el entorno la puesta en marcha de un proyecto, obra o actividad y con ello, la magnitud del sacrificio que aquél deberá soportar.

Evaluación de Impacto Ambiental. Es un procedimiento que tiene por objetivo la identificación, predicción e interpretación de los Impactos Ambientales que un proyecto o actividad produciría en caso de ser ejecutado, así como la prevención, corrección y valoración de los mismos, todo ello con el fin de ser aceptado, modificado o rechazado por parte de las distintas Administraciones Públicas competentes.

Además se entiende por Evaluación de Impacto Ambiental, el conjunto de estudios y sistemas técnicos que permiten estimar los efectos que la ejecución de un determinado proyecto, obra o actividad, causa sobre el medio ambiente, y es un procedimiento para generar información faltante, información que no generan los proyectos y que tiene la función de favorecer decisiones donde se toman en cuenta costos y beneficios de una forma integral.

Otra definición de Evaluación del Impacto Ambiental es, el procedimiento que tiene por objeto evitar o mitigar la generación de efectos ambientales indeseables que serían la consecuencia de obras o actividades humanas, mediante la estimación previa de las modificaciones del ambiente que traerían consigo tales obras o actividades.

Evaluación Estratégica Ambiental. Es un procedimiento que tiene por objeto la evaluación de las consecuencias que determinadas políticas, planes y programas, pueden producir en el territorio, en la utilización de recursos naturales y en definitiva, en el logro de un desarrollo sostenible y equilibrado.

Manifestación de Impacto Ambiental. El documento mediante el cual se da a conocer, con base en estudios, el Impacto Ambiental, significativo y potencial, que generaría, de realizarse, una obra, actividad o aprovechamiento, así como de formas de evitarlo o mitigarlo, en el caso de que sea negativo.

Ordenamiento Ecológico. El instrumento de política ambiental cuyo objetivo es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas en el territorio mexicano, con el fin de lograr la protección del ambiente y la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos y elementos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos.

Prevención. El conjunto de disposiciones y medidas anticipadas para evitar el deterioro del ambiente.

Protección. El conjunto de políticas y medidas para preservar el ambiente, prevenir y controlar su deterioro.

Plan de Manejo Ambiental. Plan orientado a implementar las acciones preventivas y correctivas que permitan evitar, mitigar, corregir y compensar los daños ocasionados por el proyecto en sus distintas fases (construcción, operación y mantenimiento). El Plan de Manejo Ambiental incluirá un plan de contingencias y un plan de monitoreo y seguimiento.

Plan de Contingencias. Es un plan de respuesta a emergencias, para lo cual requiere de una organización, procedimientos de respuesta, definición de equipamiento mínimo y definición de responsables.

Plan de Monitoreo y Seguimiento. Plan que realiza un seguimiento de las condiciones iniciales, de la calidad ambiental y de los impactos ambientales que se presentan. Se deben identificar los sistemas afectados, los tipos de impacto y los indicadores como el agua, aire, suelos, ecosistemas, aspectos sociales, económicos y culturales. Igualmente se incluirán los costos y el programa de ejecución durante las fases de construcción y operación.

Programa de Prevención. Corresponde a las medidas técnicas, normativas, administrativas y operativas que tienden a prevenir, evitar, reducir los impactos negativos, antes de que sean producidos.

Programa de Mitigación. Corresponde a las medidas técnicas, normativas, administrativas y operativas que tienden a corregir, atenuar o disminuir los impactos negativos, una vez que se han producido.

Programa de Medidas Compensatorias. Comprende el diseño de las actividades tendientes a lograr consensos y compensaciones ambientales entre el proponente del proyecto y los actores involucrados.

Programa de Manejo de Desechos. Es el conjunto de acciones requeridas para manejar adecuadamente los diferentes tipos de desechos (sólidos, líquidos) desde su generación hasta su disposición final.

Programa de Capacitación Ambiental. Actividades de entrenamiento y/o capacitación ambiental para los actores involucrados en un proyecto.

Programa de Participación Ciudadana. Mediante el cual se involucrará y mantendrá informada a la comunidad durante la elaboración del estudio que deberá contener las observaciones que haya formulado la ciudadanía durante la presentación del estudio, destacando la forma en que dieron respuesta al estudio, y los mecanismos utilizados para involucrar a la comunidad en el proyecto.

ANEXO D

PRINCIPALES CÓDIGOS Y ESTÁNDARES NACIONALES E INTERNACIONALES PARA LA FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS

ANEXO D

PRINCIPALES CÓDIGOS Y ESTÁNDARES NACIONALES E INTERNACIONALES PARA LA FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS

Los códigos y estándares, son documentos los cuales establecen métodos para manufactura y prueba de tubos. Los documentos son preparados y se actualizan por comités, cuyos miembros representan Sociedades Industriales, Gobiernos, Universidades, Institutos, Sociedades Profesionales, Comercio Industrial, Confederaciones Laborales, tales como el gobierno de los Estados Unidos de América o Los Estados Unidos Mexicanos, etc.

La ingeniería práctica provee formas de las bases de estándares y códigos, de esa manera se incluyen requerimientos mínimos para la selección de material, dimensiones, diseño, edificación, inspección y prueba para implantar la seguridad de los sistemas de tubería. Revisiones periódicas son realizadas para incorporar a los códigos y estándares el desarrollo de la Industria.

Generalmente los códigos establecen en sus especificaciones requerimientos mínimos para el diseño, selección de materiales, fabricación, elección, prueba e inspección de sistemas de tuberías, mientras que los estándares contienen reglas y requerimientos de diseño y construcción para componentes individuales de las tuberías tales como: codos, bridas, válvulas, y otros. Las agencias y organismos gubernamentales generalmente exigen que un sistema de tuberías se apegue a un código. Las aseguradoras exigen también que haya estricto apego a un código para garantizar la seguridad en una planta. El cumplimiento de un estándar viene normalmente mencionado en el código o en la especificación de compra.

"Puede" es una palabra de estándar y código y denota un requerimiento u obligación y "debe" implica recomendación pero no obligación. Cuatro razones para la aplicación de códigos y estándares son:

DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

- 1) Los tubos fabricados de acuerdo a estándares son intercambiables, y de dimensiones y características conocidas.
- 2) La concordancia en un código o estándar correspondiente garantiza cumplimiento, confianza y da una base para negociaciones de contratos, tanto como para obtener seguros, etc.
- 3) Caso jurídico que podría seguir a un accidente en la planta causada por la falla de una parte del sistema, es probablemente menos sentenciado si el sistema ha sido diseñado y construido de acuerdo con un código o un estándar.
- 4) Un código frecuentemente da las substancias para regulaciones federales estatales o municipales de mínima seguridad. El gobierno federal puede si es necesario, determinar regulaciones propias, las cuales a veces aparecen en forma de código.

Los códigos y estándares son publicados por diversas asociaciones. La Asociación Americana de Estándares fue fundada en 1918 con el fin de autorizar estándares nacionales que tenían su origen en las cinco mayores Sociedades de Ingeniería, ante una situación caótica que se había formado porque muchas sociedades y asociaciones mercantiles editaron sus estándares individuales los cuales a veces interferían.

En 1967 se cambió el nombre a la American Standard Association (ASA) o Asociación Americana de Estándares y en 1969 se hizo un segundo cambio American National Standards Institute, las abreviaciones de la American Standard Association (ASA) y a la United States of America Standard Institute (USASI) o Instituto de Estándares de los Estados Unidos de América, son hoy abreviaturas "ANSI".

ORGANIZACIONES PRINCIPALES QUE EDITAN ESTÁNDARES

The American Institute of Architects (AIA) o Instituto Americano de Arquitectura. Esta asociación expide normalmente los seguros de válvulas, empleadas en áreas peligrosas de la industria petrolera y de los sistemas contra incendio.

American National Standards Institute (ANSI) o Instituto Americano Nacional Estándares. El Instituto edita códigos y estándares relacionados a la ingeniería de tuberías.

American Petroleum Institute (API) o Instituto Americano del Petróleo. En forma similar al "ANSI" o (American National Standards Institute), establecen requisitos de material, diseño, fabricación, elección, estableciendo también dimensiones, tolerancias, rangos de presión marcaje, biselado, roscado, pruebas, etc., para tubería, válvulas, bridas, conexiones, empaques y tornillería mediante especificaciones a emplear en los sistemas de tuberías de la industria petrolera en general.

American Society of Mechanical Engineers (ASME) o Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos. La sociedad ASME edita códigos que amparan diseño, materiales, pruebas, operación, cálculo, soldadura, inspección, etc., de tuberías, calderas y recipientes a presión.

American Society for Testing and Materials (ASTM) o Sociedad Americana para Pruebas de Materiales. Estas especificaciones cubren materiales, métodos de manufactura composición química, tratamientos térmicos, pruebas, tolerancia, etc.

American Welding Society (AWS) o Sociedad Americana de Soldadura. Esta sociedad cubre biselado, tipos de soldadura inspección, prueba, tratamientos térmicos que se requieren en los sistemas de tubería y recipientes.

American Water Works Association (AWWA) o Asociación Americana de Trabajos Hidráulicos. Esta asociación edita los estándares de conexiones, válvulas, bridas, tubería, juntas, tornillería, etc., para la conducción de agua en zonas metropolitanas.

Instrument Society of America (ISA) o Sociedad de Instrumentos de América. La sociedad cubre la estandarización de materiales, fabricación, inspección y pruebas de los instrumentos empleados en sistemas de tuberías.

Manufacturers Standardization Society (MSS) o Sociedad de Estandarización de los Productores de Válvulas y Conexiones Industriales. Esta sociedad edita los estándares de fabricación para accesorios y válvulas empleados en los sistemas de tuberías.

National Fire Protection Association (NFPA) o Asociación Nacional Contra Incendios. La cubre la estandarización de todo lo referente a válvulas y accesorios de los sistemas contra incendio.

Pipe Fabrication Institute (PFI) o Instituto de Fabricación de Tuberías. El Instituto edita los estándares de prefabricado de tubería, dimensionamiento, preparación de extremos, longitud entre boquillas, tolerancias, etc. Otros países también editan estándares, como los que se enlistan en la Tabla Anexo D.1 "Principales organismos de normalización internacionales y nacionales", mediante sus organismos de normalización.

**TABLA ANEXO D.1 PRINCIPALES ORGANISMOS DE
NORMALIZACIÓN INTERNACIONALES Y NACIONALES**

PAÍS	ABREVIATURA	SEDE
Internacional	ISO	Génova
Internacional	IEC	Holanda
Alemania	DIN	Berlín
México	DGN	México, D.F.

Los códigos y estándares que aplican en la tecnología de la República Mexicana, fundamentalmente son los estadounidenses, dada la cercanía y relaciones comerciales que se tienen.

American Society of Mechanical Engineers.(ASME) o Sociedad Americana de Ingeniería Mecánica. Esta sociedad tiene varios centros de trabajo editando los códigos y estándares tales como el código para calderas y recipientes a presión y otros. También ASME o American Society of Mechanical Engineers edita el código B31 para tubería a presión que hoy en día está acreditado por ANSI o American

National Standards Institute, así entre las que interesan están en la Tabla anexo D.2 "Código B31 para tubería a presión de la ASME".

**TABLA ANEXO D.2 CÓDIGO B31 PARA TUBERIA
A PRESIÓN SEGUN LA ASME**

B31.1	Tubería de presión
B31.9	Tubería para servicio de edificios

American National Standards Institute. (ANSI) o Instituto Nacional Americano de Estándares. En todos los estándares y códigos desarrollados, aprobados y distribuidos por el instituto, el objetivo básico siempre es la seguridad. El Instituto mantiene diversos comités que discuten y aprueban los estándares así como adoptan estándares internacionales, tales como la American National Standards Institute (ANSI) desarrolló junto con la American Society of Mechanical Engineers (ASME).

Ahora se mencionan algunas leyes mexicanas referentes a redes de distribución de agua potable y especificaciones de construcción, fabricación e instalación de tuberías para conducción de agua potable y alcantarillado.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-CNA-1995, "TOMA DOMICILIARIA PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA".

La presente Norma Oficial Mexicana es de observación obligatoria para los responsables de la fabricación y prueba de los elementos que integran la toma domiciliaria, de origen nacional y extranjero que se comercialicen dentro del territorio nacional, así como del proyecto e instalación de dichos elementos.

- 1) **Objetivo.** En esta Norma Oficial Mexicana el objetivo es establecer las especificaciones y métodos de prueba que debe cumplir la toma domiciliaria para el abastecimiento de agua potable, con el fin de preservar el recurso hidráulico, sin alterar sus propiedades fisicoquímicas.

2) **Los Campos de aplicación.** Como se mencionó anteriormente la presente Norma Oficial Mexicana es de observación obligatoria para los responsables de la fabricación y prueba de los elementos que integran la toma domiciliaria, de origen nacional y extranjero que se comercialicen dentro del territorio nacional, así como del proyecto e instalación de dichos elementos.

3) **Referencias.** A continuación se proporcionan las referencias con que se identifican los apartados de esta norma:

NOM-012-SCFI-1993 Instrumentos de medición de flujo de agua en conductos cerrados de sistemas hidráulicos, medidores para agua potable fría. Especificaciones publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 14 de octubre de 1993.

NMX-AA-051-1981 Análisis de agua. Determinación de metales. Método espectrofotométrico de absorción atómica. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de febrero de 1982.

NMX-B-001-1998 Método de análisis químico para determinar la composición de aceros y fundiciones. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 14 de diciembre de 1989.

NMX-BB-093-1989 Equipo para uso médico. Contenido de metales pesados. Método espectrofotométrico de absorción atómica. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 14 de diciembre de 1989.

NMX-D-122-1973 Determinación de las propiedades de resistencia a la corrosión de partes metálicas con recubrimiento empleadas en vehículos automotores Método de niebla

ANEXO D

**PRINCIPALES CÓDIGOS Y ESTÁNDARES NACIONALES E
INTERNACIONALES PARA LA FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS**

	salina. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de enero de 1974.
NMX-E-013-1990	Industria del plástico. Tubos y conexiones. Resistencia a la presión hidráulica interna, sostenida por el largo periodo. Método de prueba. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 21 de diciembre de 1990.
NMX-H-013-1984	Recubrimiento Zinc. Localización de la porción más delgada en artículos de acero galvanizado. Método de prueba. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 31 de julio de 1984.
NMX-H-014-1984	Recubrimiento Zinc. Peso del recubrimiento en artículos de acero galvanizado. Método de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de agosto de 1984.
NMX-K-150-1965	Método de prueba para la determinación de la pureza de los productos de cobre. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 13 de julio de 1986.
NMX-W-006-1981	Lingotes de bronce. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 18 de agosto de 1981.
NMX-Z-12/2-1987	Muestreo para la inspección por atributos. Parte 2. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 28 de octubre de 1987.
NMX-C-039-1981	Tubos de asbesto cemento para alcantarillado. Especificaciones publicadas en el Diario Oficial de la Federación de 14 de enero de 1982.
NMX-C-401-1996	Industria de la Construcción. Tubos de concreto simple con junta hermética. Especificaciones publicadas por el

**DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS
EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE**

- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. en el boletín No. 2 en abril de 1996.
- NMX-C-402-1996 Industria de la construcción. Tubos de concreto reforzados con junta hermética. Especificaciones publicadas por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. en el boletín No. 2 en abril de 1996.
- NMX-E-111-1994-SCFI Industria del plástico. Tubos y conexiones. Anillos de material elastomérico usados como sello en la tubería de polivinilo de cloruro. Especificaciones publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 12 de abril de 1996.
- NMX-E211/1-1994-SCFI Industria del plástico. Tubos y conexiones. Tubos de polivinilo de cloruro sin plastificante con junta hermética de material elastomérico, utilizados para sistemas de alcantarillado. Especificaciones publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 12 de abril de 1994.
- NMX-E211/2-1994-SCFI Industria del plástico. Tubos y conexiones. conexiones de polivinilo de cloruro sin plastificante con junta hermética de material elastomérico, utilizadas para sistemas de alcantarillado. Especificaciones publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 7 de junio de 1994.
- NMX-E215/1-1994-SCFI Industria del plástico. Tubos y conexiones. Tubos de polivinilo de cloruro sin plastificante con junta hermética de material elastomérico, serie métrica, utilizados para sistemas de alcantarillado. Especificaciones publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 20 de septiembre de 1994.

ANEXO D

**PRINCIPALES CÓDIGOS Y ESTÁNDARES NACIONALES E
INTERNACIONALES PARA LA FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS**

NMX-E215/2-1994-SCFI Industria del plástico. Tubos y conexiones. Conexiones de polivinilo de cloruro sin plastificante con junta hermética de material elastomérico, serie métrica empleados para sistemas de alcantarillado. Especificaciones publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 22 de septiembre de 1994.

NMX-E216-1994-SCFI Industria del plástico. Tubos de polietileno. Tubos de polietileno de alta densidad para sistemas de alcantarillado. Especificaciones publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 20 de septiembre de 1994.

NMX-E222/1-1995-SCFI Industria del plástico. Tubos y conexiones. Conexiones de polivinilo de cloruro sin plastificante de pared estructurada longitudinalmente con junta hermética de material elastomérico, utilizados para sistemas de alcantarillado. Especificaciones publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 11 de septiembre de 1996.

NMX-T021-1994-SCFI Industrial Hulera. Anillos de hule empleados como sello en las tuberías de asbesto cemento Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de octubre de 1994.

Las normas de referencia se pueden consultar en el domicilio del Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua, situado en la calle de J. Sánchez Azcona 1723, Colonia del Valle, Delegación Benito Juárez, Código Postal 03100, México, D.F.

4) Definición

Para los efectos de esta Norma Oficial Mexicana, se establecen las definiciones siguientes:

- 4.1) **Abrazadera.** Elemento de la toma domiciliaria que se coloca sobre el tubo de la red de distribución y que proporciona el medio de sujeción adecuado para recibir a la válvula de inserción.
- 4.2) **Calidad.** Conjunto de propiedades y características de un producto o servicio que le confieren la aptitud para satisfacer los requisitos explícitos o implícitos preestablecidos.
- 4.3) **Compatibilidad.** Características de un elemento que de acuerdo a su diseño permite su interconexión con otro.
- 4.4) **Cuadro.** Parte de la toma domiciliaria que inicia donde termina el ramal, cuya función es la de permitir la colocación del medidor y otros elementos como válvula limitadora de flujo, llave de nariz y otras válvulas y se ubica en los límites del predio, terminando con el tapón instalado.
- 4.5) **Diámetro Nominal.** Medida de clasificación de la toma domiciliaria que corresponde a la denominación comercial de los elementos que la integran.
- 4.6) **Elemento.** Cualquier componente o dispositivo que integra la toma domiciliaria, y que debe satisfacer los requerimientos de la presente Norma; éstos pueden ser tubos, válvulas, conexiones, medidor, etc.
- 4.7) **Falla.** Cualquier alteración que sufra la toma domiciliaria o sus elementos y que afecte su funcionamiento tal como, fuga o envejecimiento prematuro, o que afecte la calidad del agua.
- 4.8) **Fuga.** Pérdida de agua de la toma domiciliaria a través de cualquiera de sus elementos o de sus uniones.
- 4.9) **Llave de banqueteta.** Elemento que permite el corte del flujo o cierre de la toma, para realizar reparaciones o limitar el servicio, con acceso desde el exterior.
- 4.10) **Organismo operador.** Entidad encargada y responsable del suministro de agua potable en cantidad y calidad en la localidad donde se ubiquen las tomas domiciliarias que pueden tener el carácter de Federal Estatal o Municipal.

- 4.11) **Presión de prueba.** Presión que se aplica a la instalación con objeto de detectar posibles fugas.
- 4.12) **Presión de trabajo.** Presión máxima de operación de una toma domiciliaria que corresponde a la presión de la red hidráulica de donde se deriva.
- 4.13) **Purga.** Procedimiento mediante el cual se expulsa el aire atrapado en las líneas cuando éstas son llenadas con agua.
- 4.14) **Ramal.** Parte de la toma domiciliaria que da inicio en la llave de inserción y concluye en el codo inferior del primer tubo vertical del cuadro.
- 4.15) **Silleta de polietileno.** Es el elemento de polietileno de alta densidad que se une por termofusión a la tubería de polietileno de alta densidad de la red de distribución y recibe a la válvula de inserción.
- 4.16) **Toma domiciliaria.** Instalación que se conecta a la tubería de la red de distribución y permite el suministro de agua potable a los usuarios.
- 4.17) **Usuario.** Quien recibe el servicio de suministro de agua potable para su consumo a través de una toma domiciliaria.
- 4.18) **Válvula de inserción.** Elemento que se instala en la abrazadera o directamente en la tubería de la red de distribución y que cuenta con un dispositivo de cierre (válvula) de un cuarto de vuelta es decir 90 grados, cuya función es cortar la entrada del agua y permitir la instalación del ramal, la prueba de hermeticidad y las maniobras de reparación.

Fuente: Comisión Nacional del Agua (CNA), Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua. México 2003.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

"AGUAS SUBTERRÁNEAS, CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO"

Martínez Rubio, Juan y Ruano Magan, Pedro.

Promotora General de Estudios S.A. de C.V. (PROGENSA).

México, 1999.

"AGUA SUBTERRÁNEA Y CONTAMINACIÓN"

Iturbide Argüelles, Rosario y Silva Martínez, Ana Elisa.

Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

México, julio de 1992.

"COMPENDIO BÁSICO DEL AGUA EN MÉXICO 2001 Y 2002"

Comisión Nacional del Agua (CNA) – Secretaría de Marina y Recursos Naturales (SEMARNAT).

México, octubre de 2000.

"EL AGUA EN MÉXICO: RETOS Y AVANCES"

Comisión Nacional del Agua (CNA) – Secretaría de Marina y Recursos Naturales (SEMARNAT).

México, octubre de 2000.

"APORTES A LA HISTORIA DE LA GEOHIDROLOGÍA EN MÉXICO"

Arreguín Mañón, José.

Centro de Investigaciones y Estudios Superiores de Antropología Social (CIESA).

México, 1988.

"COMPENDIO BÁSICO DEL AGUA EN MÉXICO"

Comisión Nacional del Agua (CNA).

México, septiembre de 1999.

"PRESENTE Y FUTURO DEL AGUA EN MÉXICO"

Gerencia de Planeación Hidráulica, Subdirección de Programación.

Comisión Nacional del Agua (CNA). México, 2000.

**DETECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE FUGAS
EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE**

“DIANOSTICO TÉCNICO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE CUERNAVACA, MOR.”

TESIS

Escuela Nacional de Estudios Profesionales (ENEP), Campus Aragón.
Estado de México, 1999.

“DETECCIÓN Y CONTROL DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE”

TESIS

Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
Ciudad Universitaria, México, 2003.

“USO DE EQUIPO ACÚSTICO PARA DETECCIÓN DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE”

TESIS

Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
Ciudad Universitaria, México, 2002.

“PLANEACION Y ANTEPROYECTO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA ZONA CONURBANA ORIENTE EN IXTAPAZIHUATANEJO, ESTADO DE GUERRERO”

TESIS

Escuela Nacional de Estudios Profesionales (ENEP), Campus Aragón.
Estado de México, 2002.

“REHABILITACIÓN DE TUBERÍA DE AGUA POTABLE POR EL MÉTODO DE ‘REVENTAMIENTO’ (TECNOLOGÍA SIN ZANJA) HASTA UN DIÁMETRO DE 12”

TESIS

Escuela Nacional de Estudios Profesionales (ENEP), Campus Aragón.
Estado de México, 2002.

“CONTROL DE FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN”

Comisión Nacional de Agua (CNA).
México, 1990.

“LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE”

Diario Oficial de la Federación de Los Estados Unidos Mexicanos. 2003.

“DETECCIÓN Y CONTROL DE FUGAS”

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

Cuernavaca, Morelos.

México, 1996.

“RECUPERACIÓN INTEGRAL DE PERDIDAS DE AGUA”

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

Cuernavaca, Morelos.

México, 1996.

“FÍSICA CONCEPTOS Y APLICACIONES”

Paul E. Tippens.

Mc Graw Hill. Sexta edición.

México 2001.

“FÍSICA TOMO I”

Raymond A. Serwey.

Mc Graw Hill. Cuarta edición.

México, 1997.

INTERNET

Direcciones electrónicas:

<http://www.inegi.gob.mx>

<http://www.imta.mx>

<http://www.cna.gob.mx>

<http://www.cepis-ops-oms.org>

<http://www.df.gob.mx/ciudad/reportajes/agua/10.html>

<http://www.eleconomista.com.mx>