

# REDUCCIÓN INTEGRAL DE PÉRDIDAS DE AGUA POTABLE

---

Leonel Ochoa Alejo, Víctor Bourguett Ortiz



**REDUCCIÓN INTEGRAL DE PÉRDIDAS  
DE AGUA POTABLE**



Leonel H. Ochoa Alejo y Víctor J. Bourguett Ortiz  
(editores)

## **Reducción integral de pérdidas de agua potable**

IMTA

Coordinación de Tecnología Hidráulica

México, 2001

628.14 Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  
I65 *Reducción integral de pérdidas de agua potable* / Leonel H.  
Ochoa Alejo y Víctor J. Bourguett Ortiz (ed.) - 2ª ed.- México:  
IMTA, 2001.  
279 pp. 22.5 x 15.5 cm  
Incluye bibliografía  
ISBN 968-7417-23-4  
1. Hidráulica 2. Hidráulica urbana  
2. Reducción de pérdidas de agua  
3. Fugas de agua potable

Coordinación editorial:  
Subcoordinación de Editorial y Gráfica.

Portada:  
Ricardo Espinoza Reza.

Diseño editorial, diagramación y formación:  
Gema Alín Martínez Ocampo.

Primera edición: 2000.  
Segunda edición: 2001.

DR© Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  
Paseo Cuauhnáhuac 8532,  
62550 Progreso, Morelos

ISBN 968-7417-23-4

Hecho en México - *Printed in Mexico*

## Índice

Introducción	11
<b>Parte I Diagnóstico de pérdidas de agua</b>	<b>25</b>
1 Balance de agua	27
2 Evaluación económica de proyectos de reducción de pérdidas	85
<b>Parte II Sectorización para facilitar la reducción de pérdidas de agua</b>	<b>99</b>
3 Diseño de redes con distritos hidrométricos integrados	101
<b>Parte III Eliminación de pérdidas de agua</b>	<b>159</b>
4 Detección, localización y reparación de fugas	161
5 Localización de conexiones no autorizadas	205
6 Corrección de errores de medición y facturación	211
<b>Parte IV Control de pérdidas de agua</b>	<b>225</b>
7 Programa de control de pérdidas	227
<b>Parte V Métodos auxiliares de la recuperación de pérdidas</b>	<b>259</b>
Apéndice. Macromedición en sistemas de distribución de agua	261



## Presentación

Desde su creación en 1986, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), ha realizado e impulsado la investigación, el desarrollo, la transferencia de tecnología, la formación de recursos humanos y la prestación de servicios tecnológicos en el ámbito de la hidráulica urbana, entre otras disciplinas.

Las investigaciones y desarrollos de tecnología del IMTA están dirigidos a apoyar la toma de decisiones en el sector y a la solución de la problemática hidráulica de nuestro país.

La vinculación de los trabajos del Instituto con las entidades normativas y operativas es muy estrecha. Esto ha permitido conocer los problemas que enfrentan los usuarios del agua, y que los procesos de transferencia e implantación de tecnología en áreas operativas sean más eficaces.

Desde septiembre de 1994, el IMTA se reestructuró y se creó el área de Hidráulica Rural y Urbana, con la misión actual de *"Identificar problemas que ocurren en los sistemas hidráulicos de ciudades y pequeñas poblaciones, y establecer soluciones, que permitan mejorar el uso y explotación eficiente del recurso agua con un desarrollo sustentable y de acuerdo a las necesidades de México"*.

La presente obra muestra un amplio panorama del quehacer del Instituto en un tema de singular importancia en materia de hidráulica urbana: la recuperación de pérdidas de agua potable.

Hago votos porque este volumen sea de utilidad para organismos operadores de agua potable en nuestro país y contribuya a ayudarlos a incrementar su eficiencia operativa.

EL DIRECTOR GENERAL

DR. ÁLVARO A. ALDAMA RODRÍGUEZ





## Prólogo

Desde 1989 el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) ha desarrollado, aplicado y transferido tecnología para el diagnóstico, eliminación y control de pérdidas de agua potable en los sistemas de distribución. Esta tecnología permite ordenar el proceso de mejora en la gestión en las empresas de agua, de forma tal que se convierta en un proyecto ejecutivo con una relación beneficio - costo atractiva para quienes la aplican. Gran parte de las técnicas presentadas contaron con el patrocinio de la Comisión Nacional del Agua, sin el cual hubiese sido imposible el desarrollo alcanzado.

Este libro resume la experiencia de nueve años de esfuerzos, experiencias y desarrollos en el IMTA sobre el problema de pérdidas de agua en sistemas de agua potable. La publicación de este libro es auspiciada por el IMTA, la Comisión Nacional del Agua Potable y la Universidad Autónoma de Guanajuato.

Los editores agradecen el apoyo del doctor Polioptro F. Martínez Austria y del doctor Felipe I. Arreguín Cortés, quienes han dirigido los trabajos en diferentes etapas de desarrollo.

La Subcoordinación de Hidráulica Rural y Urbana del IMTA ha llevado a cabo la realización y organización de la presente obra, específicamente con la contribución de las siguientes personas: Nahun García, Manuel Rodríguez y Salvador Navarro.

De la Comisión Nacional del Agua han apoyado este trabajo los ingenieros: Antonio Fernández Esparza, Jesús Campos López, Raúl Saavedra Horita y Leopoldo Rodríguez Varela.

Por parte de la Escuela de Ingeniería Topográfica e Hidráulica, de la Universidad de Guanajuato, han participado en la presente edición los ingenieros: Martín Fernández, Juan Manuel Tovar, Pablo Martínez y Víctor Ortega.

También, han colaborado las becarias Ma. Teresa Cervantes Quintana y Josefina Ortiz Medel.

Esperamos que este documento contibuya al desarrollo de la ingeniería hidráulica, al mejoramiento de la eficiencia de las empresas de agua y, sobretodo, al de nuestro país.

L. Ochoa, V. Bourguett  
Editores  
IMTA

Jiutepec, Mor., septiembre de 1998.

## Introducción

Leonel H. Ochoa Alejo y  
Víctor J. Bourguett Ortiz

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.

### Fugas o pérdidas físicas

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

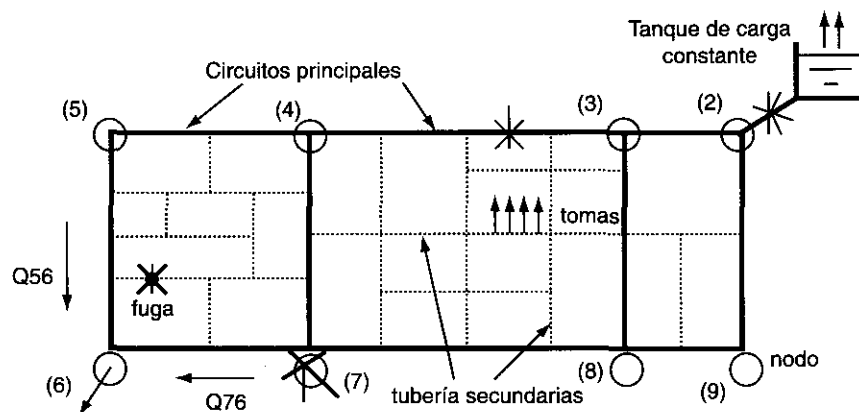


Figura 1. Esquema de una red con fugas

Hay dos tipos básicos de fugas: *visibles* y *no-visibles*. Las fugas visibles emergen hacia la superficie del terreno o pavimento, si bien la fuga puede estar localizada a una distancia considerable del punto donde fue descubierta. La mayoría de las fugas visibles son descubiertas por los lecturistas, operadores y usuarios. Los derrames en tanques son consideradas fugas visibles.

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

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

- a) *Fugas en depósitos*.- Ocurren por agrietamiento de las estructuras o el rebose de los niveles de agua. En general, son de gran magnitud, esporádicas y de corta duración. Entonces se deben realizar inspecciones del estado físico de los tanques de almacenamiento y dar mantenimiento a las válvulas de control de los niveles de agua líneas.
- b) *Fugas en conducciones, líneas principales y secundarias (figura 2)*.- Sus caudales aproximados están en un rango de 250 ml hasta 10 l/s y en ocasiones son mayores. Las fugas se deben al efecto de corrosión que usualmente inicia con fallas pequeñas, pero pueden crecer con el tiempo a fallas muy grandes. También son producidas por cargas superficiales, instalación defectuosa y defectos de fabricación del material de los tubos. El golpe de ariete debido a cambios bruscos en la operación del sistema provocan fugas de esta categoría.
- c) *Fugas en conexiones domiciliarias (figura 3)*.- Estas fugas tiene caudales entre 20 y 250 ml/s en promedio y pueden presentarse como tipo; rajaduras, perforaciones, corte o piezas flojas, El primero y cuarto tipo de falla se asocia con la mala calidad de materiales empleados o instalación deficiente; el segundo y tercer casos a factores externos.

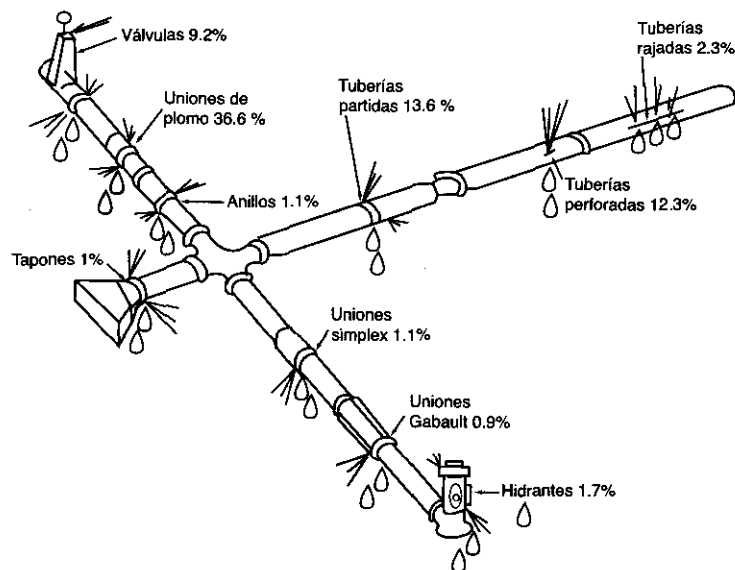


Figura 2. Ubicación y frecuencia de fugas en líneas principales y secundarias<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CEPIS, *Manual sobre control de fugas y mediciones en redes de distribución de agua potable*, OPS, Lima Perú, 1983.

- d) *Fugas en el cuadro del medidor.*- Normalmente son goteos que representan un caudal de 50 a 100 l/hr (menores que 20 ml/s y son básicamente producidas por piezas flojas y falta de hermeticidad del micromedidor.
- e) *Fugas en cajas de válvulas.*- Varían entre 200 ml/s hasta 1 l/s. Se producen por rotura de empaques o volantes de las válvulas. Las fugas pueden ocurrir en válvulas reductoras de presión, reguladoras de presión, de aire, etcétera.
- f) *Fugas intradomiciliarias.*- Principalmente se presentan en los herrajes o el "sapito" de los WC o bien en empaques de regaderas y llaves.

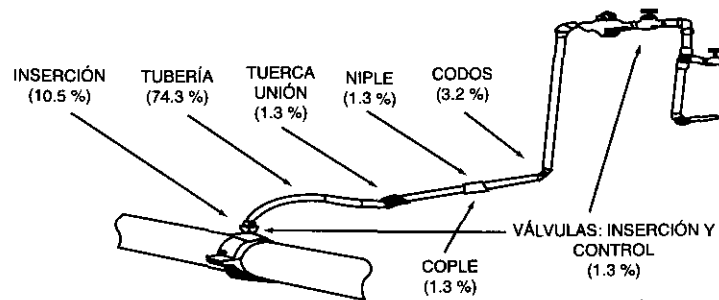


Figura 3.- Ubicación y frecuencia de fugas en tomas domiciliarias.

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

- Presión alta
- Corrosión externa
- Corrosión interna
- Efectos del tráfico de vehículos
- Mala calidad de los materiales y accesorios
- Mala calidad de mano de obra
- Edad de las tuberías
- Movimientos del suelo (sismos)

En México se ha concluido que en los sistemas de distribución de agua potable, las fugas ocurren entre un 80 y 90 % en las conexiones domiciliarias y se deben principalmente a la mala calidad de los materiales, a la mala construcción y a que no se respeta la normatividad<sup>2</sup>; algunos ejemplos de ello se muestran en los cuadros 1 y 2. Los volúmenes promedio estimados de agua perdida por estas fugas son del orden de 36% del agua que se suministra a las ciudades.

2 Arreguín-Cortés F. y Ochoa-Alejo L., "Evaluation of Water Losses in Distribution Networks", *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Sep-Oct 1997, USA.

Cuadro 1. Resultado de la evaluación de pérdidas en ciudades de México.

Ciudad	Caudal promedio suministrado		Tomas con fuga		Pérdidas por fugas en tomas		Pérdidas por fugas en tuberías		Pérdidas por submedición		Pérdidas totales en el sistema	Presión media	Profundidad media de tomas	Caudal unitario de fuga en tomas
	L/s	%	L/s	%	L/s	%	L/s	%	L/s	%	%	kg/cm2	cm	ml/s/unit
Cancún, QR.	940	38	114	12.1	146.7	15.6	2.4	.3	28.0		0.52	32	20.3	
Coatzacoalcos, Ver.	730	19	262	35.8	36.03	4.9	.0	.0	40.7		2.02	41	47.9	
Constitución, BCS.	165	35	52	31.4	2.0	1.2	1.3	.8	33.4		0.04	34	17.3	
Chihuahua, Chih.	3489	5	552	15.8	896.0	25.7	.0	.0	41.5		1.80	64	90.3	
Durango, Dgo.	2128	21	649	30.5	176.45	8.3	.0	.0	38.8		0.97	72	36.3	
Guaymas, Son.	488	30	114	23.4	8.6	1.8	5.2	1.1	26.2		1.15	34	29.5	
Juárez, Chih.	4147	19	1241	29.9	239.7	5.8	.0	.0	35.7		2.63	60	34.8	
Los Cabos, BCS.	268	34	61	22.6	29.5	11.0	7.9	3.0	36.6		1.97	28	29.4	
Oaxaca, Oax.	721	24	445	61.8	8.2	1.1	.0	.0	62.9		1.98	50	46.5	
Querétaro, Qro.	1783	14	242	13.5	50.0	2.8	242.7	13.6	30.0		1.22	58	21.8	
Tapachula, Chis.	743	7	50.3	6.8	106.2	14.3	13.8	1.8	22.9		0.50	50	68.3	
Tuxtla, Gtz., Chis.	1162	24	212	18.3	93.29	8.0	38.9	3.3	29.7		0.80	35	70.1	
Veracruz, Ver.	2869	16	644	22.4	445.2	15.5	.0	.0	37.9		0.97	35	46.8	
Xalapa, Ver.	1215	9	465	38.3	7.8	0.6	.0	.0	38.9		4.00	32	96.8	
Zacatecas, Zac.	485	14	134	27.7	14.8	3.1	.0	.0	30.7		2.14	30	29.1	
Promedio pesado (%)		16.8		24.5		10.6		1.3	36.4		1.59	44	45.6	

Cuadro 2. Frecuencia de fugas en tomas domiciliarias.

CIUDAD	Porcentaje de fugas	MATERIAL DEL TUBO			TIPO DE FALLA						SITIO DE LA FUGA					
		Plástico	Cobre	Acero galvanizado	Fisura	Perforación	Corte	Piezas flojas	Rotura	Inserción	Tubo	Niple	Codo	Llave	Unión	Cople
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
CANCÚN	24.1	97	3	0	29	20	32	19	0	1	73	19	6	0	0	0
CHIHUAHUA	15.8	17	55	28	15	5	17	46	17	11	50	6	5	24	2	2
COATZACOALCOS	39.7	96	0	4	71	8	4	1	17	3	95	0	0	0	1	0
CONSTITUCIÓN	31.4	100	0	0	76	12	10	1	1	3	95	0	0	0	0	1
DURANGO	30.5	98	1	1	76	3	20	1	0	2	94	4	0	0	0	0
GUAYMAS	23.4	96	3	1	83	5	10	2	0	1	98	0	1	0	0	0
JUÁREZ	29.9	31	68	1	30	29	26	3	12	15	66	5	8	4	0	2
LOS CABOS	22.6	92	8	0	62	2	6	26	4	0	67	1	2	22	8	0
OAXACA	59.2	16	26	58	39	44	6	9	2	2	80	0	0	2	16	0
QUERÉTARO	13.5	79	19	3	73	2	4	20	1	20	75	0	4	1	0	0
TAPACHULA	13.6	96	1	3	61	1	21	3	14	3	92	1	0	4	0	0
TUXTLA GTZ	26.9	94	2	4	66	9	10	5	10	1	88	2	4	3	2	8
VERACRUZ	24.2	95	1	4	66	9	10	5	10	4	89	6	0	1	0	0
XALAPA	34.1	3	0	97	28	49	19	4	0	35	63	3	0	0	0	0
ZACATECAS	27.7	48	7	42	13	17	29	22	19	18	62	7	0	14	0	0
PROMEDIO		70.5	12.9	16.4	52.6	14.3	14.9	11.1	7.1	8.0	79.1	3.5	2.0	5.0	1.9	.9
PROMEDIO PESADO		58.5	25.9	15.5	46.6	15.4	16.5	12.9	8.6	10.5	74.3	4.1	3.2	5.7	1.3	1.3

## NOTAS:

- Los datos se refieren a:

- (1) Relación entre el total de pérdidas de fugas en tomas domiciliarias y la producción anual media y abastecida a la red, %.
- (2) (16) el porcentaje de fugas clasificada bajo cada título.

- El promedio pesado se considera con base en el número de tomas domiciliarias.



Muchas fugas son pequeñas cuando inician, pero crecen con el tiempo. Así, el promedio de vida útil de las fugas puede ser de varias semanas, meses y hasta años. Para efectos de evaluación económica, en México es conveniente suponer que las fugas potenciales tienen periodos de existencia iguales a un año en zonas de la ciudad relativamente nuevas, de dos a cinco en áreas seminuevas y de diez años en zonas muy viejas (por ejemplo la zona centro). Para efectos de balance, las fugas identificadas se puede suponer como máximo un año de existencia, y en algunos casos de seis meses.

### **Agua no-contabilizada o pérdidas comerciales**

Las pérdidas comerciales se deben a agua utilizada en algún punto del sistema, pero que el organismo operador no puede, por alguna causa, cuantificar con exactitud el volumen respectivo. Básicamente las pérdidas comerciales pueden deberse a:

- Errores de medición
- Errores de facturación
- Usos no autorizados

### **Problemas de la reducción de pérdidas de agua**

Después de hacer una análisis y con base en la experiencia de los autores, se resume que el problema de agua no contabilizada o pérdidas de agua potable principalmente se origina debido a:

- Desconocimiento de técnicas aplicables a la solución del problema.
- Falta de financiamiento, para llevar a cabo los trabajos correspondientes.
- Ausencia de programas sistemáticos de reducción y control de pérdidas.
- Errores en la estimación de la existencia real de agua no contabilizada (no hay auditoría del agua).
- Escaso adiestramiento y capacitación del personal encargado.

Es común que los operadores de los sistemas de distribución estén preocupados por la reducción del agua no contabilizada, realizando prácticas de localización y reparación de fugas, calibración de medidores, identificación de usos no autorizados, etc., lo cual ha motivado a que, bajo circunstancias precipitadas, adquieran equipos o implanten actividades que por lo general siempre conducen a altos costos y eficiencias reducidas. Algunas de estas herramientas que se ofrecen en el mercado son equipos

detectores y localizadores de fugas, técnicas de construcción y reparación, medidores de gasto y volumen, programas de cómputo, entre otros. Sin embargo, es conveniente recordar que la reducción de pérdidas tiene las características siguientes:

- Es parte de un proceso que arroja resultados en un determinado plazo, tres a cuatro años, por lo que no es inmediata.
- Al inicio puede ser fácil recuperar altos porcentajes de pérdidas a un costo relativamente bajo, pero después de un cierto nivel, la relación de costo aumenta considerablemente debido a que se vuelve más difícil localizar las pérdidas o detectar las fallas en su control.
- Existe siempre un nivel mínimo aceptable que físicamente se puede alcanzar, debido a que la ocurrencia de pérdidas es un proceso dinámico dependiente de parámetros no controlables.

Como se puede observar en la figura 4, reducir el agua no contabilizada de 50 al 30% tendría un costo inferior a reducir del 30 al 20%. Existe un límite inferior en donde es más caro reducir que seguir perdiendo, este límite es una función de precio de agua, entonces, reparar o rehabilitar los daños de la tubería que ocasionan pérdidas o corregir errores de submedición, puede ser rentable hasta ese límite, siempre y cuando la relación beneficio-costos de la reducción sea mayor que uno; en México se estima como valor aceptable un 20% de fugas y el valor límite se considera del 15%, respecto al volumen total suministrado.

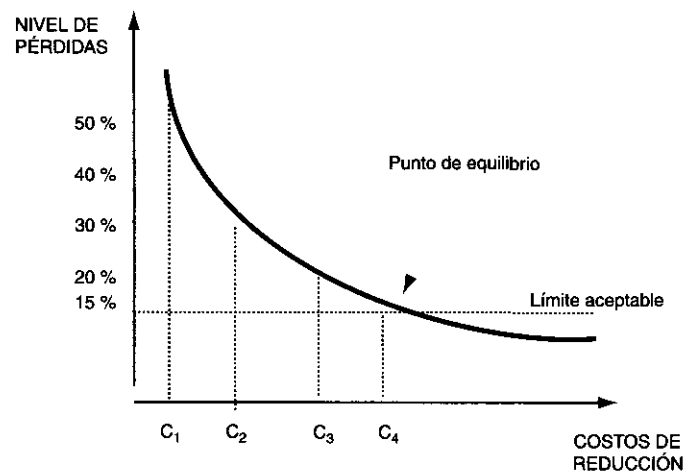


Figura 4. Curva de costo vs nivel de reducción de pérdidas.

## ¿Qué es la reducción integral de pérdidas de agua?

La reducción integral de pérdidas de agua es un proceso dinámico en tiempo y espacio que inicia con un diagnóstico, involucra la eliminación y su control, y que, aplicado en forma precisa a la operación y mantenimiento de sistemas de agua potable, ayuda a conservar el agua suministrada a las ciudades, a mejorar la calidad del servicio proporcionado a la población por el organismo operador, a ahorrar dinero en gastos de energía eléctrica y potabilización, y a aumentar los ingresos por la venta del agua a los usuarios. Una manera de enmarcar las actividades correspondientes a la reducción integral de pérdidas de agua es dividiéndolo en tres bloques, ver la figura 5:

- a) *Diagnóstico de pérdidas.*- En él se evalúan los volúmenes de agua que se pierden y sus principales patrones de ocurrencia, y se identifican las causas que las producen, a través del análisis de estadísticas de operación y muestreos de campo, la utilización de las técnicas de detección de fugas es necesaria para obtener el diagnóstico.
- b) *Sectorización de la red para facilitar la reducción de agua no contabilizada.*- Dar seguimiento a programas de reducción de ANC es muy difícil si antes no se ha evaluado y optimizado el funcionamiento de la red de distribución, a través de sectores y distritos hidrométricos en su diseño y operación.
- c) *Eliminación de pérdidas.*- Se definen los procedimientos, diseños, equipos y modelos de decisión, para facilitar la búsqueda de pérdidas y subsanar el daño existente.
- d) *Control de pérdidas.*- Se plantean las acciones, ya sean directas, indirectas o de apoyo, que permitan establecer una estructura adecuada dentro de una empresa de agua para apoyar y dar sustento al programa de reducción integral de pérdidas, en forma ordenada y con actividades objetivas.

La ejecución de la reducción integral de pérdidas debe realizarse bajo una buena supervisión, con el objeto de asegurar que las acciones que se deriven de él, estén bien fundamentadas, con datos reales y con un análisis preciso.

### Diagnóstico de pérdidas, base de la reducción integral

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

$$\text{SUMINISTRO} = \text{CONSUMO MEDIDO DE USUARIOS} + \text{CONSUMO ESTIMADO} + \text{PÉRDIDAS DE AGUA}$$

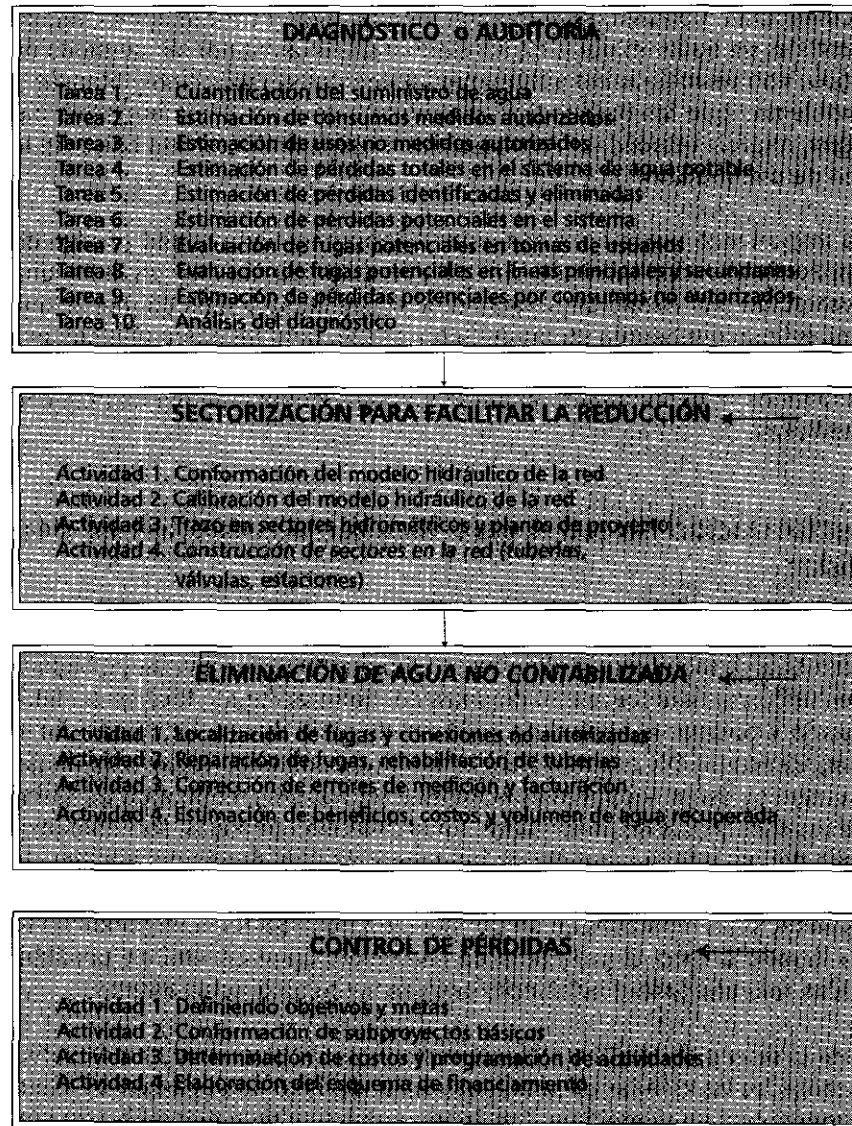


Figura 5. Esquema de reducción integral de pérdidas de agua.

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

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

El diagnóstico implica la descripción técnica, clara y concisa del estado de pérdidas de agua; es decir, de los efectos observados por las pérdidas de agua, con relación a sus volúmenes, porcentajes, reducción potencial y problemas que las originan. El diagnóstico se basa en la auditoría del agua, análisis estadísticos y muestreos, análisis del deterioro físico de la red de distribución.

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

## **Sectorización de redes para facilitar la reducción de pérdidas**

Los distritos hidrométricos (DH) son sectores que pueden aislarse hidráulicamente de la red de distribución con movimientos de válvulas y que pueden utilizarse para precisar el diagnóstico, detectar fugas, facilitar la eliminación y optimar el control de pérdidas de agua de una localidad. En el diagnóstico los DH proporcionan información sobre los volúmenes de fugas que se tienen en líneas principales y secundarias, consumos unitarios de usuarios y usos no autorizados. En la detección de fugas, son utilizados para definir sectores con mayor incidencia de pérdidas físicas a través de indicadores nocturnos. Durante la eliminación de pérdidas, evitan que el agua de fugas reparadas en un DH ingrese a otros sectores en donde no se ha llevado a cabo el programa de reducción. En el control de pérdidas hacen más eficiente el establecimiento de los subproyectos básicos.

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

La construcción de los DH se ejecuta según lo indicado en el proyecto de la red con los sectores integrados. En esta tarea es necesario cambiar o

rehabilitar válvulas de seccionamiento, montar las estaciones de aforo, sustituir o desconectar tramos de tubería, cambiar las rutas de algunos ramales y modificar elementos del sistema de distribución.

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

### **Eliminación de pérdidas de agua**

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

- a) Eliminación física.- Se presentan dos posibilidades. La primera que consiste en detectar, localizar y reparar fugas que aparecen puntualizadas en las tuberías, accesorios o tomas domiciliarias de la red. La segunda considera la acción de limpiar, reparar o sustituir todo un tramo de una tubería de la red.
- b) Eliminación contable.- Se refiere a la corrección de errores de medición, localización de conexiones no autorizadas y ajuste de errores de facturación.

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

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

### **¿Por qué el programa de control de pérdidas?**

Todo proyecto de reducción de agua perdida debe incluir una serie de elementos que permitan, al organismo operador de un sistema de agua

potable, mantener el nivel de agua facturada alcanzado durante la eliminación del agua no contabilizada.

En el programa de control de pérdidas se diseñan e implantan estos elementos, mediante una serie de acciones a corto y largo plazos enmarcadas en los subproyectos básicos del cuadro 3. Estos subproyectos básicos serán jerarquizados, detallados en actividades específicas, calendarizados con sus costos y financiamientos respectivos, para que conforme se implanten, se reduzca la posibilidad de retornar a niveles más altos de pérdidas de agua.

Cuadro 3. Subproyectos básicos del programa de control de pérdidas de agua.

A) Proyectos de operación del servicio	B) Proyectos de control de usuarios	C) Proyectos de apoyo logístico
<ul style="list-style-type: none"> <li>- catastro de la red de distribución</li> <li>- catastro de instalaciones</li> <li>- hidrometría</li> <li>- macromedición</li> <li>- control de la operación del sistema</li> <li>- estadísticas de fugas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- padrón de usuarios</li> <li>- micromedición y consumos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- desarrollo de recursos humanos</li> <li>- control de suministros</li> <li>- comunicación social</li> </ul>

## Beneficios del proyecto integral de reducción de pérdidas de agua

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

- Reducción de riesgos en la toma de decisiones al comprar equipos o herramientas de detección, localización y reparación de fugas.
- Mejoramiento financiero, al programar inversiones y medir los beneficios obtenidos.
- Cuantificación de las pérdidas de agua en tomas domiciliarias, tuberías principales, errores de medición, conexiones no autorizadas y fallas en la facturación; y determinación del origen de dichas pérdidas.
- Incremento en el conocimiento físico e hidráulico de la red por parte de los operadores del sistema.
- Uso más eficiente de los recursos existentes, al poder designar actividades congruentes con un proyecto integral de reducción de pérdidas.

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

Las formas de estimar los beneficios económicos al ejecutar el proyecto integral de reducción de pérdidas de agua son<sup>3</sup>:

- Considerar el valor del agua que se pierde incluyendo el pago de derechos y los costos de energía eléctrica y reactivos químicos.
- Incluir además reparaciones, mantenimiento, salarios y supervisión de bombeo, tratamiento, conducción y distribución, es decir los costos de producción.
- Dividir todos los costos de operación del organismo operador, entre el volumen de agua producido, que para los efectos de este documento se les llama costos de operación.

## Conclusiones

1. La reducción de pérdidas representa un *Programa ejecutivo para aumentar la eficiencia del sistema de agua potable y conservar los recursos financieros del organismo operador.*
2. El objetivo fundamental de los trabajos es *reducción de agua no contabilizada por sectores de la red de distribución*, a través de la rehabilitación de tomas domiciliarias y tuberías, así como el ajuste de errores de micromedición o subestimación de consumos con cuota fija, y localización de usos no autorizados.
3. La reducción de pérdidas es un proceso que surge de la necesidad de los sistemas de agua potable de *implantar un proceso de modernización en el uso eficiente del agua y control de la operación del sistema hidráulico de agua potable* y disminuir el nivel de pérdidas por agua no contabilizada.
4. Se trata de un programa que se ejecuta por sectores, lo cual permite, por un lado el **escalamiento en la reparación de fugas en tuberías**, modulando las inversiones en el tiempo, y por otro un **balance de agua controlado**, puesto que la estimación de volúmenes de pérdidas recuperadas se define con mayor exactitud.

3 American Water Works Association, *Economic of Leak Detection, a Case Study Approach*, AWWA, 1985, Denver Colorado, USA



5. Los beneficios que se obtienen tienen un **impacto inmediato**, dado que se logran ahorros en energía eléctrica y potabilización inmediatamente después de la inversión. Mejora de la imagen social, ya que los usuarios reconocen pronto los esfuerzos del organismo operador y ven justo el pago por el servicio de agua.
6. El programa de reducción tiene sus puntos fuertes en la información confiable (medición, muestreo y consulta); en el respaldo tecnológico de vanguardia; su costo es atractivo; y en la asesoría nacional oportuna y con experiencia.
7. Por último, sus principales ventajas son:
  - Es relativamente rápido ver resultados y sencillo en su aplicación
  - Es eficaz en los resultados
  - Se cuenta con respaldo tecnológico nacional

## **Parte I**

### **Diagnóstico de pérdidas de agua**



# Capítulo 1 Balance de agua

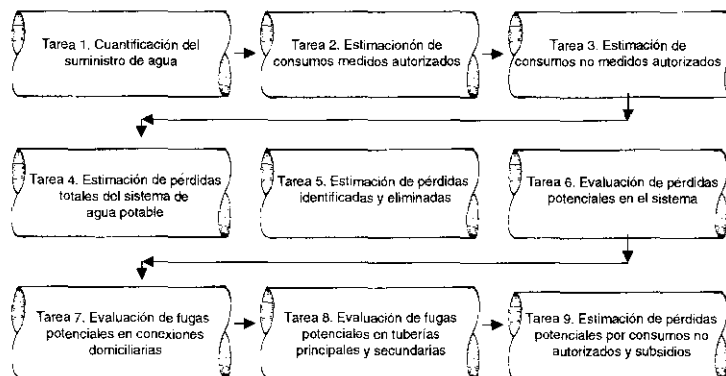
Leonel H. Ochoa A.  
Víctor J. Bourguett O.  
J. Manuel Rodríguez V.

Este escrito está basado en la técnica que sobre auditoría del agua presenta la *American Water Works Association* en su manual M-36 (AWWA, 1990). Y trata sobre el procedimiento para realizar un balance de las pérdidas de agua de un sistema de agua potable (figura 1). Se presentan las instrucciones de cada paso del procedimiento a seguir, el formato sugerido para presentar los resultados y la aplicación con un ejemplo ilustrativo en una ciudad. En algunos casos se describen opciones de los métodos aplicados en la elaboración del balance, para que el proyectista elija la técnica que mejor se adapte a su sistema de agua potable. Se incluye un anexo sobre la evaluación de pérdidas potenciales y una serie de ejemplos de aplicación.

## ANTES DE INICIAR

- A. Establecer una hoja de trabajo
- B. Definir el periodo de análisis
- C. Elegir una unidad de medida

## EL BALANCE DEL AGUA



## ANÁLISIS DEL BALANCE

- A. Identificar pérdidas recuperables
- B. Determinar el costo que originan las pérdidas
- C. Calcular el costo y tiempo de la recuperación de pérdidas

Figura 1.1. Procedimiento básico para elaborar un balance de pérdidas de agua.

## Antes de iniciar

Antes de iniciar el balance de pérdidas de agua debes establecer tres factores que influyen en la confiabilidad del estudio: a) definir una hoja de trabajo, b) establecer un periodo de análisis y, c) elegir una unidad de medida.

### Establece tu hoja de trabajo

En la figura 1.2 se incluye una hoja de trabajo, que contiene un ejemplo para una ciudad y las instrucciones para meter los datos. Será necesario que generes información adicional, como se verá paso a paso en este capítulo y se te indicará que datos entran en la hoja de trabajo. En el **anexo A** se incluyen formas de trabajo en blanco.

### Define el periodo de análisis

Un balance de pérdidas de agua potable se realiza en un tiempo definido. Se recomienda utilizar un periodo de doce meses para incluir las variaciones estacionales.

### Elige una unidad de medida

Se debe utilizar la misma unidad de medida durante todo el balance de pérdidas de agua. Elige una unidad de medida que sea común en el sistema estudiado, por ejemplo metros cúbicos de agua. Una vez elegida la unidad oficial del análisis, no puedes cambiarla aunque existan registros con otras unidades; en estos casos deberás aplicar un factor de conversión.

## TAREA 1. CUANTIFICACIÓN DEL SUMINISTRO DE AGUA

Esta tarea consiste en determinar cuánta agua ingresa al sistema de distribución y de donde proviene.

### *Paso 1.1 Identifica y dibuja un croquis de las captaciones*

Identifica todas las captaciones que suministran agua al sistema de distribución, incluyendo interconexiones con otros sistemas y captaciones que operen en situaciones de emergencia. elabora una lista de todas las captaciones.

Localiza un plano del sistema de agua potable que muestre las tuberías principales y las zonas de fuentes y conducción (figura 1.3 y 1.4). Una

escala de 1 m : 10 km hace legible el plano y manejable el trabajo. Traza sobre el plano cada pozo, galería, manantial, derivadora, etc., así como las estaciones de bombeo, tanques de entrega o distribución, líneas de conducción e interconexión. Visita cada estructura y marca en el dibujo sus dimensiones y los puntos de aforo. Construye una relación de los aparatos de medición de caudal y volumen de agua, según el cuadro 1.1; incluye notas aclaratorias.

Para: Ciudad Período de estudio: Enero de 1995 a diciembre de 1995 Unidad: metros cúbicos

Tarea 1. Cuantificación del suministro de agua.

LÍNEA	CONCEPTO	CANTIDAD	TOTAL ACUMULADO
1	Suministro total de agua al sistema de distribución sin corregir		18'676,539
2	Ajustes al suministro total de agua		
2A	Error en exactitud de medidores de la fuente de abastecimiento (+ ó -)	-119,623	
2B	Cambio en reservas y tanques de almacenamiento (+ ó -)	- 60,120	
2C	Otras contribuciones o pérdidas (+ ó -)	- 47,581	
3	Total de ajustes en suministro total de agua (sumar líneas 2A, 2B y 2C)	- 227,324	
4	Suministro total ajustado de agua al sistema de distribución (sumar líneas 1 y 3)		18' 449,215

Tarea 2. Estimación de consumos medidos autorizados.

LÍNEA	CONCEPTO	CANTIDAD	TOTAL ACUMULADO
5	Consumo medido total del agua registrado sin corregir	5'749,080	
6	Valores de ajuste ante retrasos en la lectura del medidor (+ ó -)	+ 3,114	
7	Consumo total registrado ajustado por retrasos de lectura (sumar líneas 5 y 6)	5'752,194	
8	Correcciones por exactitud de medidores		
8A	Error en medidores residenciales	+ 186,907	
8B	Error en medidores comerciales, industriales y especiales	+ 31,400	
9	Error total en exactitud de medidores (sumar líneas 8A y 8B)	+ 218,307	
10	Consumos totales de agua medidos y corregidos (sumar líneas 7 más 9)	5'970,501	
11	Agua total no registrada (restar línea 10 de la 4)		12'478,714

Figura 1.2. Hoja de trabajo del balance de pérdidas de agua.

Reducción integral de pérdidas

Balance de agua

Para: Ciudad Período de estudio: Enero de 1995 a diciembre de 1995 Unidad: metros cúbicos

Tarea 3. Estimación de consumos no-medidos autorizados.

LÍNEA	CONCEPTO	CANTIDAD	TOTAL ACUMULADO
<b>12</b>	Uso del agua no medida autorizada		
	12A Usuarios domésticos con cuota fija	1749,888	
	12B Reparación de tuberías	41,478	
	12C Procesos de plantas de tratamiento	20,300	
	12D Escuelas	0	
	12E Parques públicos	0	
	12F Agua para incendio	163,828	
	12G Otros servicios	95,800	
	0		
<b>13</b>	<i>Consumo total no medido autorizado (sumar líneas 12A hasta la 12G)</i>	<b>2'071,294</b>	

Tarea 4. Estimación de pérdidas totales del sistema de agua potable

<b>14</b>	<i>Pérdidas totales de agua (restar línea 13 de la 11)</i>		<b>10'407,420</b>
-----------	--	--	-------------------

Tarea 5. Estimación de pérdidas identificadas y eliminadas.

LÍNEA	CONCEPTO	CANTIDAD	TOTAL ACUMULADO
<b>15</b>	Identificación de pérdidas de agua		
	15A Fugas reparadas	28,173	
	15B Conexiones no autorizadas localizadas	13,708	
	15C Derrames en tanques y cárcamos de bombeo	0	
	15D Evaporación en depósitos abiertos	0	
	15E Errores descubiertos en el proceso contable	0	
	15F Otras pérdidas	0	
	0		
<b>16</b>	<i>Pérdidas totales de agua identificadas y eliminadas (sumar líneas 15A hasta la 15F)</i>	<b>41,881</b>	

Tarea 6. Estimación de pérdidas potenciales en el sistema.

<b>17</b>	<i>Pérdidas potenciales de agua en el sistema (restar línea 16 de la 14)</i>		<b>10'365,539</b>
-----------	--	--	-------------------

Figura 1.2. Hoja de trabajo del balance de pérdidas de agua (continuación).

Para: Ciudad Período de estudio: Enero de 1995 a diciembre de 1995 Unidad: metros cúbicos

Tarea 7. Evaluación de fugas potenciales en conexiones domiciliarias.

LÍNEA	CONCEPTO	CANTIDAD	TOTAL ACUMULADO
18	<i>Volumen de fugas en tomas domiciliarias</i>	-7' 243,819	3'121,720

Tarea 8.- Evaluación de fugas potenciales en líneas principales y secundarias

LÍNEA	CONCEPTO	CANTIDAD	TOTAL ACUMULADO
19	<i>Volumen de fugas en líneas principales y secundarias</i>	- 2' 186,874	934,846

Tarea 9.- Estimación de pérdidas potenciales por consumos no autorizados y subsidios

LÍNEA	CONCEPTO	CANTIDAD	TOTAL ACUMULADO
20	<i>Volumen de pérdidas por consumos no autorizados</i>	- 934,846	0

### Análisis del balance

21	<i>Volumen de pérdidas potenciales reducible (multiplicar línea 17 por 0.55)</i>	7'597,940
----	--	-----------

LÍNEA	CONCEPTO	PESOS POR UNIDAD DE VOLUMEN
22	Recuperación de costos	
	22A Costo del suministro de agua	\$ 4.0 / m <sup>3</sup>
	22B Costos de mantenimiento y operación	\$ 0.6 / m <sup>3</sup>
23	<i>Costos totales por unidad de pérdidas reducibles (sumar líneas 22A y 22B)</i>	\$ 4.6 / m <sup>3</sup>

LÍNEA	CONCEPTO	PESOS POR AÑO
24	<i>Beneficio anual de pérdidas reducidas (multiplicar líneas 21 X línea 23)</i>	34'950,524
25	<i>Costos totales del proyecto de reducción de pérdidas</i>	23'109,000
26	<i>Relación Beneficio-costos (dividir línea 24 entre la línea 25)</i>	1.51

Preparado por:

Nombre: \_\_\_\_\_

Cargo: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_



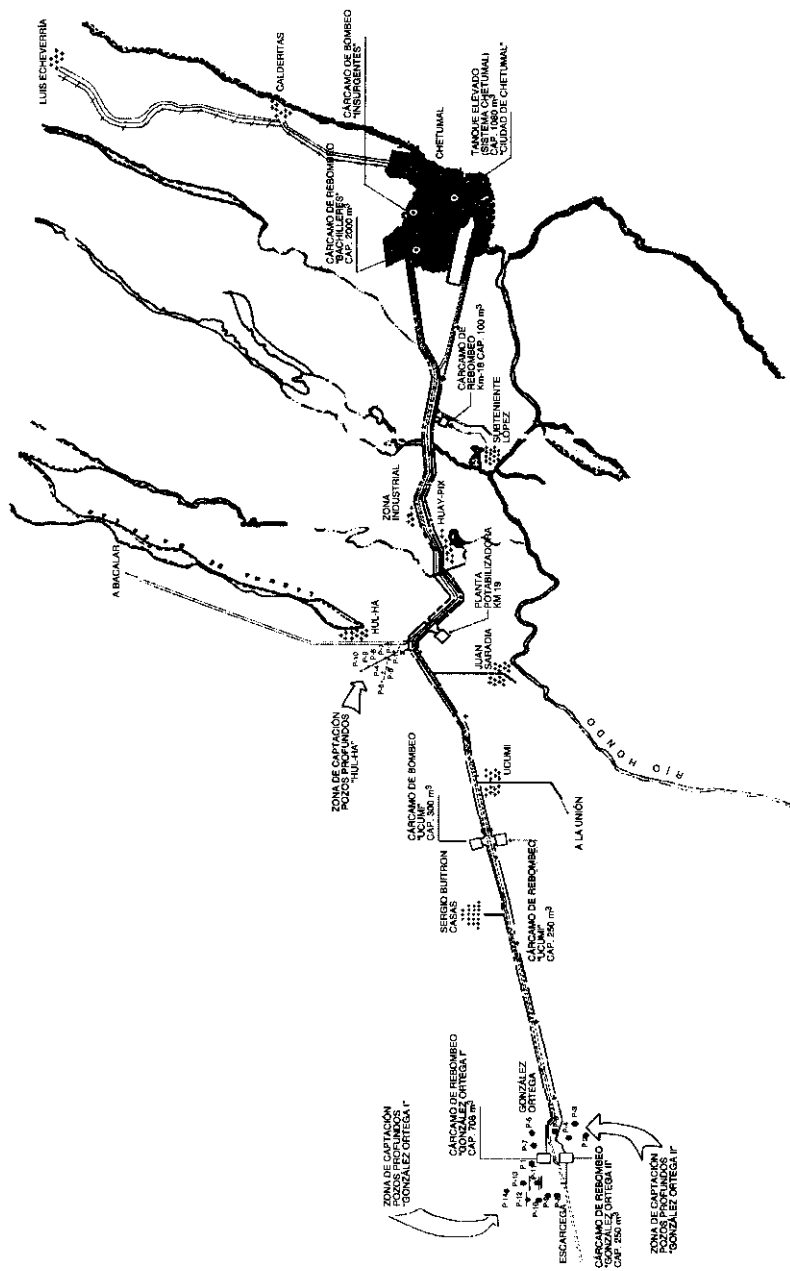
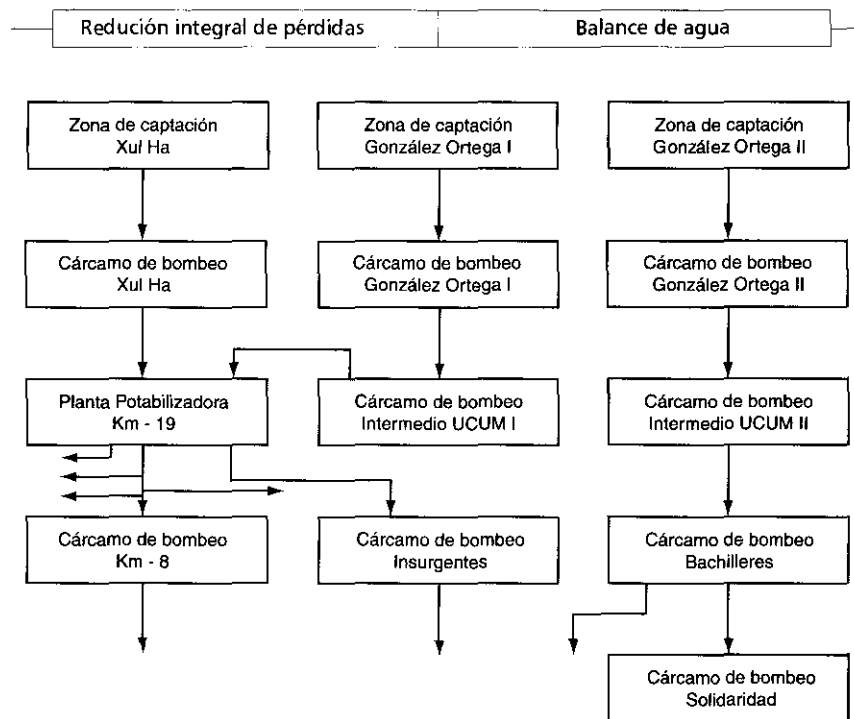


Figura 1.3. Croquis de captaciones.



Letra	Sector
A	Poblado Juan Sarabia
B	Poblado Xul-Ha
C	Poblado Huay-Pix
D	Parque Industrial
E	Subteniente López
F	Sector del km 8
G	Sector Insurgentes, colonia Santa María, del Bosque, Poblados, Calderitas y Luis Echeverría
H	Sector Bachilleres

Figura 1.4

Cuadro 1.1 Aparatos de medición.

CARACTERÍSTICAS	NOMBRE DE LA CAPTACIÓN		
	CAPTACIÓN 1	CAPTACIÓN 2	CAPTACIÓN 3
- Tipo de medidor y número de serie	<i>Annubar-43567-B</i>	<i>Annubar-45568-B</i>	<i>Annubar-45569-C</i>
- Frecuencia de lectura	<i>bimestral</i>	<i>bimestral</i>	<i>bimestral</i>
- Tipo de registrador	<i>gráfico</i>	<i>gráfico</i>	<i>gráfico</i>
- Unidad de medida	<i>metros cúbicos</i>	<i>metros cúbicos</i>	<i>metros cúbicos</i>
- Fecha de instalación	<i>16/nov/1994</i>	<i>16/feb/1995</i>	<i>1/may/1995</i>
- Diámetro del tubo	<i>8 pulgadas</i>	<i>10 pulgadas</i>	<i>14 pulgadas</i>
- Última fecha de calibración	<i>14/enero/1996</i>	<i>24/enero/1996</i>	<i>30/enero/1996</i>

### Paso 1.2 Determina el volumen de agua producido por cada captación

Revisa los registros de medición y anota los datos de los volúmenes mensuales producidos en cada captación durante el periodo de estudio. Después relaciona los resultados como se muestra en el cuadro 1.2. Estas cantidades anotadas son volúmenes no-corregidos de agua suministrada en el periodo en estudio, puesto que hay diversos factores que ocasionan desajustes en los registros, como: a) inexactitud e medidores, b) cambios de almacenamiento de tanques de regularización, c) captaciones sin medidor, d) pérdidas ocurridas antes del punto de entrega a la red de distribución.

Cuadro 1.2. Volúmenes totales producidos por las captaciones (no corregidos).

MES	CAPTACIÓN 1 (m <sup>3</sup> )	CAPTACIÓN 2 (m <sup>3</sup> )	CAPTACIÓN 3 (m <sup>3</sup> )	VOLUMEN TOTAL DE AGUA (m <sup>3</sup> )
Enero	327,734	629,262	646,117	1'603,113
Febrero	299,335	516,608	637,338	1'453,281
Marzo	333,249	603,436	777,520	1'714,205
Abril	311,892	609,729	672,399	1'594,020
Mayo	315,896	565,540	783,896	1'665,332
Junio	297,541	532,259	715,818	1'545,618
Julio	303,185	479,046	762,757	1'544,988
Agosto	297,757	540,910	760,955	1'599,622
Septiembre	296,541	551,421	677,010	1'524,972
Octubre	288,283	597,929	602,986	1'489,198
Noviembre	293,294	445,265	688,173	1'426,732
Diciembre	302,902	488,629	723,927	1'515,458
TOTAL	3'667,609	6'560,034	8'448,896	18'676,539

Cuando en una captación no se disponga de medidor o medición, debes realizar un aforo por un periodo de siete días, para que determines el caudal e infieras el volumen promedio producido en un año. Utiliza equipo de pitometría o alguno que asegure registros confiables.

\* Calcula el volumen total producido por las captaciones durante el periodo de estudio. Anota esta cantidad en la línea 1 de la hoja de trabajo.

### Paso 1.3 Ajusta el volumen total de agua producida en cada captación

Cualquier error en los registros de los aparatos de medición de las captaciones debe ser descubierto y corregido; los datos incorrectos de los volúmenes producidos invalidarán los resultados. Debes probar los medidores, bajo alguno de los procedimientos siguientes.

- Prueba de los medidores en el lugar.
- Comparación de lecturas del medidor con otro calibrado e instalado en serie.
- Sustitución del aparato por otro calibrado y comparación de registros.
- Prueba del medidor en un banco.
- Verificación del medidor con un equipo portátil.

Después de las pruebas, ajusta los volúmenes anotados en el cuadro 1.2, utiliza la ecuación 1.1, para obtener y reportar los valores precisos de la producción de las captaciones. Construye el cuadro 1.3.

$$\text{volumen errado} = \frac{\text{volumen no corregido}}{\text{porcentaje de exactitud}} - \text{volumen no corregido} \quad (1.1)$$

Cuadro 1.3. Ajuste por error en medición.

CAPTACIÓN	VOLUMEN TOTAL DE AGUA NO CORREGIDO ( m <sub>3</sub> )	PORCENTAJE DE EXACTITUD ( % )	VOLUMEN ERRADO ( m <sub>3</sub> )	VOLUMEN MEDIDO CORREGIDO ( m <sub>3</sub> )
1	3'667,609	7.082	- 259,758	3'407,851
2	6'560,034	-6.00	+ 393,602	6'953,636
3	8'448,896	3.00	-253,467	8'195,429
<b>AJUSTE TOTAL</b>	<b>18'676,539</b>		<b>-119,623</b>	<b>18'556,916</b>

\* Anota el ajuste total debido a error (Volumen Errado) sobre la línea 2-a de la hoja de trabajo.

También debes determinar los volúmenes efectivos que ingresan a la red de distribución, para lo cual necesitas restar a los **volúmenes producidos corregidos** los datos de entrega en ruta de la línea de conducción y cambios de almacenamiento de tanques. Es decir, que debes elaborar una tabla (cuadro 1.4) con el reporte de estos valores.

Cuadro 1.4. Ajuste por almacenamiento en tanques.

TANQUE	VOLUMEN INICIAL m <sub>3</sub>	VOLUMEN FINAL m <sub>3</sub>	CAMBIO EN VOLUMEN m <sub>3</sub>
A	40,600	12,300	- 28,300
B	57,060	145,480	+ 88,420
Cambio total en almacenamiento	97,660	157,780	+ 60,120

\* Anota el cambio total de almacenamiento en tanques sobre la línea 2-B de la hoja de trabajo. Recuerda que: *disminución en almacenamiento se adiciona al suministro; incremento en volumen se resta.*

Cualquier otro ajuste que consideres, tales como: pérdidas entre la fuente y el punto de entrega a la red de distribución (filtración en canales o fugas en conducción) debes considerarlo en el volumen total producido por las captaciones. Para nuestro ejemplo, durante el periodo en estudio, hubo derrames de agua en tanques de  $- 27,888 m^3$ , y vaciado y llenado de líneas de conducción de  $- 19,693 m^3$ , lo cual significa un volumen total de fugas de  $- 47,581 metros cúbicos$ .

- \* *Anota otros ajustes o pérdidas en la línea 2-C de la hoja de trabajo.*
- \* *Suma las líneas 2A, 2B y 2C; anota la suma sobre la línea 3 de la hoja de trabajo.*
- \* *Suma las líneas 3 y 1; anota la suma en la línea 4 de la hoja de trabajo, para determinar el suministro total ajustado de agua que entra al sistema de distribución.*

## TAREA 2. ESTIMACIÓN DE CONSUMOS MEDIDOS AUTORIZADOS

Esta actividad consiste en determinar cuánta agua consumieron los usuarios que cuentan con medidor domiciliario, sean domésticos, comerciales, industriales y especiales, donde se efectúa una lectura con una frecuencia determinada y están registrados en el padrón de usuarios con sus estadísticas de volumen consumido y aparentemente son los datos seguros y confiables de consumo de la población.

### *Paso 2.1 Identifica los usos medidos*

Identifica a los usuarios que tienen micromedidor y clasificalos por tamaño de conexión, calcula los porcentajes de volumen consumido y elabora el cuadro 1.5. Los valores de consumo puedes obtenerlos de los registros mensuales o bimestrales realizados por el área respectiva.

Cuadro 1.5. Tamaño de medidores y porcentaje de consumo.

TAMAÑO DEL MEDIDOR (pulgadas)	NÚMERO DE MEDIDORES	PORCENTAJE DE CONSUMO MEDIDO (%)
1/2	18,198	98.13
3/4	17	0.35
1	19	1.02
1 1/2	2	0.15
2	3	0.28
3	1	0.07
4	0	0.0
6	0	0.0
TOTAL	18,240	100.0

### Paso 2.2 Registra el volumen de agua medida

Ordena y verifica toda la información de las estadísticas de consumos medidos. Crea una lista de todos los usuarios y clasifícalos por el tipo de consumidor, con su correspondiente volumen mensual durante todo el periodo de estudio de la auditoría. Elabora el cuadro 1.6, y calcula los volúmenes consumidos por mes.

\* *Calcula la cantidad de agua total en todos los medidores durante el periodo de la auditoría. Anota la cantidad sobre la línea 5 de la hoja de trabajo. Recuerda que debes utilizar la misma unidad de medida que en el volumen suministrado.*

Cuadro 1.6. Cantidad de agua total medida (sin corregir).

MES	TIPO DE USO				TOTAL (m <sub>l</sub> )
	DOMÉSTICA (m <sub>l</sub> )	COMERCIAL (m <sub>l</sub> )	SERVICIOS PÚBLICOS (m <sub>l</sub> )	HOTELES (m <sub>l</sub> )	
Enero	402,045	23,952	31,512	9,225	466,734
Febrero	406,576	23,736	31,578	9,082	470,972
Marzo	413,682	22,677	30,463	6,659	473,681
Abril	449,150	25,588	33,973	7,083	515,794
Mayo	418,240	22,116	27,923	6,777	475,056
Junio	433,748	22,143	30,390	6,570	492,851
Julio	420,535	22,208	32,434	6,942	482,119
Agosto	412,723	21,218	29,885	6,662	470,488
Septiembre	435,732	22,327	33,964	7,032	499,055
Octubre	410,500	20,469	34,814	6,245	472,028
Noviembre	426,235	22,337	30,957	6,628	486,157
Diciembre	387,148	19,518	31,728	5,751	444,145
TOTAL	5'016,314	268,489	379,621	84,656	5'749,080

NOTA: En nuestro caso no existen consumos derivados de industrias.

### Paso 2.3 Ajusta el agua medida por error en el periodo de lectura

Debes corregir los datos del agua medida cuando las fechas de lectura del suministro y consumo no coincidan con las del periodo de la auditoría, mediante la ecuación 1.2.

(1.2)

En el ejemplo, el periodo de estudio es desde el 1º de enero hasta el 31 de diciembre de 1995, las lecturas del volumen de agua suministrada se realizan el primer día de cada mes y las lecturas de los micromedidores de usuarios se hacen los días 10. Entonces en enero, el periodo contable solamente incluye diez días del último mes de 1994 y en diciembre los últimos veinte días corresponden a la contabilización registrada en enero de 1996. En este caso, *el volumen de agua contabilizado en diciembre de 1994 fue de 453,800 m<sup>3</sup> y en diciembre de 1995 de 444,145 m<sup>3</sup>, por lo que el ajuste es el siguiente:*

a) *ajuste de enero de 1995*

$$453,800\text{m}^3 \times \frac{10 \text{ días}}{31 \text{ días}} = 146,387\text{m}^3$$

b) *ajuste en diciembre de 1995*

$$444,145\text{m}^3 \times \frac{21 \text{ días}}{31 \text{ días}} = 300,872\text{m}^3$$

*Así, sólo 146,387 m<sup>3</sup> de la contabilización registrada en enero y 300,872 m<sup>3</sup> en el mes de diciembre, debes aplicar al periodo en estudio. O sea que el valor de ajuste para ambos meses es:*

$$+ 146,387 + 300,872 - 444,145 = +3,114 \text{ m}^3$$

En ocasiones los sistemas de agua potable, tienen rutas con diferente periodo de lectura; ajusta los tiempos de registro de manera similar al ejemplo anterior.

- \* *Anota el ajuste por retraso de lectura en la línea 6 de la hoja de trabajo.*
- \* *Calcula el consumo total medido ajustado por periodos de lectura desfasados sumando las líneas 5 y 6 en y enseguida anotar el resultado en la línea 7 de la hoja de trabajo.*

#### ***Paso 2.4 Ajusta el agua medida por error en exactitud de micromedidores***

Se deben corregir los valores de consumos medidos por errores en la exactitud de los micromedidores, ya que por las condiciones de funcionamiento, a través del tiempo, los aparatos van perdiendo exactitud y por tanto las lecturas registradas tendrán errores. Como existen miles de medidores en un sistema de distribución de agua potable, es difícil y costoso inspeccio-

nar y probar cada uno de ellos, cada año, por los que se pueden realizar inspecciones anuales en todos los medidores mayores de 2" y muestras aleatorias de los más pequeños (domésticos), según se indica en el **anexo B**. A la muestra de medidores domésticos se le debe verificar para los rangos de funcionamiento inferior, medio y superior y se determina el correspondiente porcentaje de exactitud de los aparatos, como se muestra en el cuadro 1.7.

Cuadro 1.7. Exactitud de medidores domésticos con gasto nominal de 3 m<sup>3</sup> / h.

RANGO DE FUNCIONAMIENTO	GASTO MEDIO ( m <sup>3</sup> / hr )	PORCENTAJE DE EXACTITUD EN EL REGISTRO DE LOS MICROMEDIDORES ( % )
<i>Inferior</i>	<i>0.0 a 0.15</i>	<i>75.0</i>
<i>Normal</i>	<i>0.151 a 3.0</i>	<i>96.0</i>
<i>Superior</i>	<i>más de 3.0</i>	<i>105.0</i>

Enseguida, debes estimar la proporción del volumen de agua que se consumió en el periodo de estudio, para cada rango de funcionamiento; es decir, del volumen total consumido en todo el año de 1995, qué valor ocurrió en micromedidores que funcionaban prácticamente dentro del rango de funcionamiento inferior, normal y superior. El procedimiento para estimar estas proporciones se muestra en el **anexo B**, construye el cuadro 1.8 con estos valores. Los resultados anteriores se pueden utilizar para calcular el volumen de error total promedio ocasionado por inexactitud de los aparatos, de acuerdo con el procedimiento del cuadro 1.9 y utilizando la ecuación 1.3.

Cuadro 1.8. Proporción de consumo de agua en micromedidores domésticos con gasto nominal de 3 m<sup>3</sup> / h.

RANGO DE FUNCIONAMIENTO	GASTO MEDIO ( m <sup>3</sup> / hr )	PROPORCIÓN DEL VOLUMEN TOTAL DE AGUA DEL PERIODO EN ESTUDIO ( % )
<i>Inferior</i>	<i>0.0 a 0.15</i>	<i>4.0</i>
<i>Normal</i>	<i>0.151 a 3.0</i>	<i>78.0</i>
<i>Superior</i>	<i>más de 3.0</i>	<i>18.0</i>



Cuadro 1.9.- Ajuste del agua medida por error en exactitud de micromedidores.

PROPORCIÓN DE VOLUMEN DE AGUA (%)	VOLUMEN TOTAL DE AGUA CONSUMIDA (m <sup>3</sup> /AÑO)	VOLUMEN EN EL RANGO DE FUNCIONAMIENTO (m <sup>3</sup> /AÑO)	PORCENTAJE DE EXACTITUD EN EL REGISTRO DE LOS MICROMEDIDORES (%)	AJUSTE DE AGUA MEDIDA ERRADA (m <sup>3</sup> /AÑO) ecuación 1.3
4.0	5'016,314	200,653	75.0	+ 66,884
78.0	5'016,314	3'912,724	96.0	+ 163,020
18.0	5'016,314	902,937	105.0	- 42,997
Total de Ajuste de Agua Medida Errada				+ 186,907

$$\text{Agua medida errada} = \sum \left( \frac{\text{Volumen}}{\text{porcentaje de exactitud}} - \text{Volumen} \right)_{\text{rangos } i} \quad (1.3)$$

\* Anota este valor del ajuste total de consumo por inexactitud de micromedidores domésticos en la línea 8a.

De la misma manera se debe obtener el ajuste del volumen consumido medido por inexactitud de micromedidores de grandes consumidores. En este caso el ajuste provocado por estos medidores es de + 31,400 metros cúbicos.

\* Anota el ajuste de consumo por inexactitud de micromedidores de grandes consumidores en la línea 8b de la hoja de trabajo.

\* Suma las líneas 8a y 8b sobre la hoja de trabajo; anota la suma en la línea 9.

\* Suma líneas 7 y 9, anota la suma sobre la línea 10 de la hoja de trabajo.

\* Calcula el agua no-medida total correcta, restar a la línea 10 la línea 4, anota el resultado sobre la línea 11 de la hoja de trabajo.

### TAREA 3. ESTIMACIÓN DE USOS NO-MEDIDOS AUTORIZADOS

Debes estimar cuidadosamente el volumen de agua no-medida de los usuarios, generalmente es un rubro bastante importante para producir un adecuado balance de pérdidas de agua. Existen varios procedimientos para estimar el agua no-medida; la selección del mejor procedimiento para una situación dada, deberá considerar la dificultad en obtener la información, el grado de precisión necesario, la disponibilidad de equipo de medición, etc. Deberás estimar al menos los siguientes usos de agua.

- Usuarios domésticos con cuota fija
- Reparación de tuberías
- Plantas de tratamiento
- Escuelas

- Riego de áreas públicas
- Agua para incendio

### *Paso 3.1 Estima los consumos domésticos con cuota fija*

Estima el volumen por consumos con cuota fija, multiplicando el valor del consumo mensual asignado a este tipo de usuarios, por el número de usuarios y por doce meses. Por ejemplo, *el consumo mensual asignado a cada usuario con cuota fija es de 15.5 m<sup>3</sup>/mes, que aplicado a los 9,408 tomas sin medidor domiciliario se obtiene un consumo total durante el periodo en estudio de 1'749,888 metros cúbicos.*

\* *Anota el valor del consumo doméstico total en la línea 12A de la hoja de trabajo.*

### *Paso 3.2 Evalúa otros consumos autorizados no medidos*

i) *Reparación de tubería.-* Consiste en determinar el agua del sistema de distribución que se descarga de los tramos de la red por el vaciado de los mismos, para efectuar alguna reparación de la tubería. La forma de estimar el volumen por este concepto, es obteniendo de los departamentos de operación y/o mantenimiento el registro de todas las reparaciones realizadas durante el periodo en estudio, estimar una longitud y diámetro promedio de los tramos que fueron vaciados, calcular el volumen unitario promedio por tramo; el volumen total por reparación se obtiene multiplicando este volumen unitario por el número de reparaciones realizadas.

En el ejemplo se realizaron 834 reparaciones de tubería principal de 24" de diámetro y una longitud de tramo media de 150 m, y 980 reparaciones en tubería secundaria de 10" de diámetro y longitud media de 100 m, por lo que el volumen de vaciado de tubería fue de 36,512 m<sup>3</sup> en líneas principales y de 4,966 m<sup>3</sup> en conductos secundarios, que en total suman 41,478 metros cúbicos.

\* *Anota este valor de consumo por reparación de tubería la línea 12B de la hoja de trabajo.*

ii) *Plantas de potabilización.-* Corresponde al volumen de agua utilizada para lavado de filtros, recipientes de sedimentación u otro tipo de agua consumida para mantenimiento en las plantas potabilizadoras o de tratamiento de aguas negras. Para estimar este volumen es necesario consultar al personal encargado de operar la planta y verificar sus registros. *Para el ejemplo que se viene desarrollando, con los registros indicados, se estimó que se tuvo un consumo de agua para lavado de*

plantas potabilizadoras de 20,300 m<sup>3</sup> durante el periodo en estudio.

\* Anota este valor de consumo por procesos y lavado de plantas de tratamiento en la línea 12C de la hoja de trabajo.

iii) Escuelas.- El agua es usada en centros educativos en muebles sanitarios, limpieza y aseo. Los consumos totales estimados en el año se pueden obtener utilizando un consumo *per cápita* por estudiante, haciendo comparaciones con otras escuelas de la localidad con micromedidor, que tengan características similares, tales como horas de uso, espacios recreativos, etc. O bien puedes recurrir al muestreo.

En nuestro ejemplo todas las escuelas tienen micromedidor por lo que el volumen de este concepto es igual a cero metros cúbicos.

\* Anota el consumo estimado en escuelas sin micromedidor en la línea 12D de la hoja de trabajo.

iv) Riego de áreas públicas.- Esta agua es usada para regar parques, cementerios, jardines, campos deportivos o áreas similares. Para que estimes estos volúmenes es necesario que consigas los datos del número de metros cuadrados de zonas de verdes existen, la frecuencia de riego y el valor promedio de lámina de agua asignada al pasto. Construye una tabla como la que se muestra en el cuadro 1.10.

Cuadro 1.10. Estimación de consumos no medidos autorizados por riego de áreas públicas.

TIPO DE ÁREA	ÁREA (m <sup>2</sup> )	LÁMINA DE AGUA POR CADA RIEGO (mm)	FRECUENCIA DEL RIEGO (No. de riegos por año)	CONSUMO TOTAL DE RIEGO (m <sup>3</sup> )
Parques	150,040	10	70	105,028
Cementerios	20,000	10	45	9,000
Jardines	5,700	10	120	6,840
Campos deportivos	35,300	10	120	42,960
TOTAL				163,828

Nota: Se consideró una lámina de agua para un clima tipo cálido.

\* Calcula el agua no-medida autorizada por riego de áreas públicas. Anota este valor sobre la línea 12E de la hoja de trabajo.

v) Agua para incendio.- Se trata de agua que es extraída de la red de distribución para llenado de pipas, la que se utiliza en las cajas de

inundación y la que se descarga directamente de los hidrantes, por el H. Cuerpo de Bomberos, en sus actividades contra incendios. Para estimar el volumen de agua utilizada contra incendios, es necesario que consultes cada uno de los registros de los diversos departamentos de bomberos instalados en la ciudad. Debes evaluar cada siniestro ocurrido y las circunstancias ocurridas en relación a los consumos de agua; es decir en cada incendio, puedes obtener datos de su duración aproximada, el tipo de extracción, etc., y calcular con estos datos la suma total de los volúmenes de agua usados. *En nuestro ejemplo, después de consultar los registros de incendios ocurridos, se estimó un volumen de agua por este concepto de 95,800 metros cúbicos.*

\* *Anota el consumo de agua contra incendio sobre la línea 12F de la hoja de trabajo. No olvides utilizar la misma unidad de medida seleccionada al principio de la auditoría.*

vi) Otros servicios.- Consiste de otras cantidades de agua que puedan ser evaluadas y que sean significativas, tales como: consumo en construcciones, lavado de drenaje sanitario, etc. Debes tratar de estimar estos consumos mediante análisis similares a los otros consumos no medidos autorizados. En nuestro ejemplo no hubo este tipo de consumos.

\* *Anota la suma de estos valores de consumo de agua sobre la línea 12G de la hoja de trabajo. No olvides utilizar la misma unidad de medida seleccionada al principio de la auditoría.*

\* *Calcula el agua total no medida autorizada sumando las líneas 12A hasta 12G sobre la hoja de trabajo; anota la suma en la línea 13.*

#### **TAREA 4. ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS TOTALES DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE**

Como se ha visto, parte del sistema agua producida por el sistema de distribución se contabiliza, es decir, los registros muestran cuánta es utilizada para cada propósito. Sin embargo, cierta cantidad de agua no está medida ni autorizado su uso; a esta cantidad de agua se le considera como *agua no contabilizada o pérdida del sistema de agua potable*. Éstas pueden clasificarse en dos clases:

a) Pérdidas identificadas y eliminadas

- Fugas reparadas
- Conexiones no autorizadas localizadas
- Derrames en tanques y cárcamos de bombeo

- Evaporación en depósitos abiertos
- Errores descubiertos en el proceso contable
- Otras pérdidas

#### b) Pérdidas potenciales

- Fugas en conexiones domiciliarias
- Fugas en tuberías principales y secundarias
- Pérdidas por consumos no-autorizados

\* *Calcula las pérdidas totales de agua restando la línea 13 de la 11. Anota la resta sobre la línea 14 de la hoja de trabajo.*

### TAREA 5. ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS IDENTIFICADAS Y ELIMINADAS

Durante el periodo de estudio del balance, algunas fugas fueron reparadas en el sistema y conexiones no autorizadas que han sido detectadas e incorporadas al listado de usuarios, de forma tal que pueden cuantificarse y descontarse del total de pérdidas; es decir, son pérdidas conocidas por el sistema que fueron recuperadas a lo largo del tiempo del análisis.

#### *Paso 5.1 Estimación del volumen por fugas localizadas reparadas*

Se debe estimar el volumen de las fugas reparadas durante el periodo de estudio, para lo cual es necesario calcular el gasto de cada fuga ocurrida y reparada y multiplicarlo por el tiempo de permanencia correspondiente (desde su aparición hasta su reparación). Existen algunos procedimientos para determinar el gasto de agua de la fuga; selecciona uno de los tres métodos siguientes: a) Recipiente-reloj, b) Manguera-medidor y, c) Ecuación de descarga de agua por un orificio.

##### a) Recipiente-reloj

Prepara un recipiente transparente de veinte litros y traza marcas a cada litro, utiliza para ello una probeta graduada. Después, coloca el recipiente cerca de la fuga, de tal manera que el agua se vierta dentro de él, al mismo tiempo arranca un cronómetro digital (con centésimas de segundo) y apunta el tiempo en que el agua alcanza la marca de 20 litros; el gasto de la fuga, en litros por segundo, será el volumen del recipiente dividido entre el tiempo total que marca el cronómetro. Repite este procedimiento al menos en tres ocasiones por fuga y determina un promedio entre ellas. No olvides estimar este gasto para cada fuga que sea reparada.

Este procedimiento se recomienda para fugas menores de 200 ml/s, por ejemplo, las ocurridas en conexiones domiciliarias, en casos de fugas

mayores, como las que se presentan en tuberías principales y secundarias, se recomienda realizar una excavación alrededor de la fuga en forma de un rectángulo con dimensiones suficientes para alojar la cantidad de agua descargada a través de la fuga en un tiempo mayor de cinco segundos; utiliza una bomba de achique para vaciar la excavación y mantener niveles durante el registro de los datos. También, en algunos casos puedes utilizar bolsas de plástico en lugar del recipiente, para adaptarse mejor a las condiciones del sitio.

#### b) Manguera-medidor

Este método consiste en hacer una medición indirecta del gasto de fuga en la conexión domiciliaria. Antes de excavar y descubrir la fuga de agua, realiza una medición del gasto que sale por la llave que está localizada en el cuadro de la conexión domiciliaria. Registra la lectura de volumen inicial y final que marca el micromedidor y divide la diferencia entre el tiempo que transcurre entre ellas; repite este trabajo por lo menos tres veces y determina un promedio del gasto antes de excavar. Después de que excaves y descubras la fuga, sella momentáneamente el escape de agua utilizando una cinta de hule flexible. Durante este sellado, vuelve a repetir el registro de las lecturas de volumen y tiempo en el micromedidor y determina otro gasto promedio. Calcula el gasto de la fuga, haciendo la diferencia del gasto antes y después de excavar. Este procedimiento tiene la ventaja, respecto al anterior, que considera un valor del gasto más real de la fuga confinada por el suelo. También puede utilizarse una cubeta y un cronómetro para determinar los gastos. No olvides verificar que durante toda la medición no existan variaciones de presión del agua en la conexión domiciliaria superiores al 10% de la presión inicial, o de lo contrario debes repetir el aforo de la fuga cuando sean más estables las presiones en la red de distribución.

#### c) Ecuación de descarga de un orificio

Después de cortar el servicio de agua por la tubería, mide el tamaño y forma de la falla que ocasiona la fuga y la presión en la tubería, para lo cual te puedes auxiliar de un manómetro conectado a una manguera y colocarlo en la salida de una conexión domiciliaria. Aunque este método introduce un pequeño error debido a la forma de la falla es muy útil para determinar el gasto de fugas grandes (del orden de l/s). Usa la ecuación de Greeley (ecuación 1.4) para determinar el gasto de la fuga.

$$Q = K \times A \times P^{1/2} \quad (1.4)$$

Donde: Q es el gasto de la fuga en litros por segundo, A es el área de la sección transversal de la falla, en pulgadas cuadradas (in<sup>2</sup>), P es la presión

del agua en la tubería, en libras por pulgada cuadrada ( $\text{lb}/\text{in}^2$ ); el coeficiente K es 19.152 para fallas circulares y 14.361 para rajaduras.

Una vez que obtengas los datos de las fugas identificadas, construye el cuadro 1.11 para conexiones domiciliarias y el cuadro 1.12 para tuberías principales y secundarias, después calcula el volumen de agua total por fugas identificadas y reparadas durante el periodo de estudio.

Cuadro 1.11. Fugas identificadas y reparadas en conexiones domiciliarias.

ZONA DE PRESIÓN DE LA CIUDAD ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )	NÚMERO DE FUGAS	GASTO PROMEDIO DE LAS FUGAS (ml/s)	TIEMPO QUE EXISTIO LA FUGA (días)	VOLUMEN DE AGUA PERDIDA ( $\text{m}^3$ )
0 - 1.0	440	35	7	9,314
1.1 - 2.0	532	60	3	8,273
2.1 a 3.0	no hubo	-	-	-
más de 3.0	no hubo	-	-	-
<b>SUBTOTAL</b>	<b>972</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>17,587</b>

Cuadro 1.12. Fugas identificadas y reparadas en tuberías principales y secundarias.

DIÁMETRO DE TUBERÍAS (Pulgadas)	NÚMERO DE FUGAS	GASTO PROMEDIO DE LAS FUGAS (ml/s)	TIEMPO QUE EXISTIO LA FUGA (días)	VOLUMEN DE AGUA PERDIDA ( $\text{m}^3$ )
3, 4 y 6	46	255	5	5,067
8 y 10	24	312	3	1,941
12 a 20	15	714	2	1,850
más de 20	8	1,250	2	1,728
<b>SUBTOTAL</b>	<b>93</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>10,586</b>

El total de fugas identificadas y reparadas en el ejemplo es igual a  $17,587 + 10,586 = 28,173 \text{ m}^3$ .

Cuando por alguna razón no se hayan aforado la fugas ocurridas durante el periodo en estudio, se puede realizar un muestreo aleatorio de las fallas ocurridas durante treinta días y que son reparadas por cuadrillas de man-

tenimiento, y estimar el tiempo de permanencia a partir de la experiencia del propio sistema. Por ningún motivo se deben incluir las fugas identificadas y no reparadas, o sea las fugas que aparecen en rezago, debido a que se trata de agua que todavía no has recuperado.

\* *Anota la pérdida total por fugas descubiertas y reparadas sobre la línea 15A de la hoja de trabajo.*

### *Paso 5.2 Estimación de volumen de conexiones no autorizadas descubiertas*

Las conexiones no autorizadas son arreglos de tuberías que generalmente instala un usuario con el fin de disminuir el registro de volumen de agua, o en el caso extremo, para que no aparezca en el listado de usuarios autorizados por el sistema. Durante la operación y el mantenimiento de la red de distribución, el personal del sistema va descubriendo y reportando este tipo de irregularidades debido a que representan, por un lado errores de balance de agua y por otro, ineficiencia en el proceso contable del organismo.

Investiga en el listado de usuarios o bien en los reportes de las cuadrillas de mantenimiento y operación, cuántas conexiones ilegales fueron descubiertas durante el periodo en estudio. Anota a la ubicación, el tipo de arreglo detectado, el consumo promedio mensual registrado antes de descubrir el fraude y el consumo promedio mensual que se considera representativo de la zona socioeconómica donde se encontró la conexión ilegal. Ordena esta información conforme se indica en el cuadro 1.13 y determina el volumen total de agua que se dejó de medir por este problema (ecuación 1.5) e incorpora esta corrección en el balance.

**Cuadro 1.13. Conexiones no autorizadas descubiertas y corregidas durante el mes de julio.**

ZONA SOCIO-ECONÓMICA	NÚMERO DE CONEXIONES DESCUBIERTAS	CONSUMO PROMEDIO ANTES DE SU DETECCIÓN (m <sup>3</sup> /mes)	CONSUMO PROMEDIO DE LA ZONA (m <sup>3</sup> /mes)	CORRECCIÓN AL VOLUMEN DE AGUA (m <sup>3</sup> )
<i>Popular</i>	27	6.0	19	2,106
<i>Media</i>	34	7.0	30	4,692
<i>Residencial</i>	12	0.0	45	3,240
<i>Centro de la ciudad</i>	5	9.0	70	1,830
<b>SUBTOTAL</b>	<b>78</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>11,868</b>



$$(\text{Consumo Prom. Zona} - \text{Consumo Antes}) \times (\text{No. de conex.}) \times (\text{No. Meses ocultas}) \quad (1.5)$$

La corrección del volumen de agua de conexiones no autorizadas para consumo comercial o industrial, deben estimarse a partir del consumo obtenido de acuerdo al tipo de uso que tenga el agua en esa conexión, para lo cual puedes auxiliarte de tablas o recomendaciones que aparezcan reportadas en manuales o estudios expofeso (referencia, Ochoa, 1994). *Para nuestro ejemplo, fueron descubiertas en el mes de julio dos conexiones ocultas de casas comerciales y una de una fábrica de tapetes de hule, que representan un volumen de agua de 1,840 m<sup>3</sup>, con lo que sumadas a las conexiones de uso doméstico 11,868 m<sup>3</sup>, suma un total de 13,708 m<sup>3</sup> que deben incorporarse al balance del periodo en estudio.*

\* *Anota el volumen total por conexiones no autorizadas descubiertas sobre la línea 15B de la hoja de trabajo.*

### **Paso 5.3 Estimación de pérdida por derrames en tanques y cárcamos de bombeo.**

Esta pérdida de agua básicamente se debe al mal funcionamiento de válvulas; ocurre cuando la válvula de flotador falla. Estima la pérdida de agua dividiendo, la diferencia del gasto que se registra a la entrada del tanque o cárcamo menos el gasto de salida, entre el tiempo que permaneció el derrame. En algunas ocasiones existen filtraciones en los tanques a través de grietas estructurales, por lo que hay que sumar también este volumen de pérdida. Este último volumen puedes calcularlo, cerrando las válvulas de la entrada y la salida del tanque y midiendo el cambio de volumen a diferentes elevaciones.

En nuestro ejemplo no existieron derrames ni filtraciones durante el periodo de estudio.

\* *Anota el volumen total de pérdidas por derrames en tanques y cárcamos de bombeo, más las de filtraciones sobre la línea 15C de la hoja de trabajo.*

### **Paso 5.4 Estimación de pérdida por evaporación en depósitos abiertos**

Algunos almacenamientos de agua están abiertos a la atmósfera y por lo tanto sujetos a evaporación. Calcula las pérdidas midiendo el área de la superficie y multiplicándola por la lámina anual de evaporación. *En nuestro ejemplo no existieron evaporaciones en depósitos durante el periodo de estudio.*

- \* *Anota la pérdida total por evaporación en depósitos sobre la línea 15D de la hoja de trabajo. Recuerda que debes utilizar la misma unidad de medida que en el volumen suministrado.*

### **Paso 5.5 Estimación del volumen de agua por errores descubiertos en el proceso contable**

Para estimar este tipo de pérdida puedes verificar una muestra representativa de cuentas de cada ruta, de la forma siguiente:

- + Determina el número de cuentas de cada ruta que serán verificadas.
- + Elige la muestra aleatoria de cuentas.
- + Verifica las lecturas reportadas; verifica en campo las lecturas el mismo día si es posible, para determinar si el registro se hace bien; calcula la diferencia.
- + Compara la cantidad de agua total con el total de cuentas contabilizadas; podrán ser similares, en caso contrario se debe determinar la razón de la discrepancia.
- + Si las cuentas presentan una diferencia sustancial de las lecturas realizadas, revisa el proceso de contabilización paso por paso.

En nuestro ejemplo no existieron errores en el proceso contable durante el periodo de estudio.

- \* *Anota la diferencia la pérdida total debida a errores de contabilización sobre la línea 15E de la hoja de trabajo. Recuerda que debes utilizar la misma unidad de medida que en el volumen suministrado.*

### **Paso 5.6 Estimación de volumen de agua por otras pérdidas identificadas**

Anota cualquier otra pérdida identificada durante el periodo de estudio, por ejemplo robos de agua, fugas, filtraciones, etcétera.

- \* *Anota el total de otras pérdidas sobre la línea 15F de la hoja de trabajo.*
- \* *Suma todas las pérdidas de agua identificadas (líneas 15A hasta 15F). Anota la suma sobre la línea 16 de la hoja de trabajo.*

## **TAREA 6. EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS POTENCIALES**

A todas el volumen de agua que no se ha identificado durante el balance del periodo en estudio se denomina volumen de pérdidas potenciales o *agua no contabilizada potencial*. Estas pérdidas corresponden a un volumen de agua que puede encontrarse en cualquier parte del sistema de

distribución, que se puede determinar su valor, pero que no se tiene conocimiento en donde se encuentra exactamente.

\* *Calcula el volumen de pérdidas potenciales restando la línea 16 de la 14. Anota la diferencia en la línea 17 de la hoja de trabajo*

La evaluación de las pérdidas potenciales del sistema se efectúa mediante una metodología probada en México que permite estimar con suficiente aproximación, la cantidad de agua perdida debida a fugas en conexiones domiciliarias, tuberías principal o secundaria y consumos no autorizados (Ref. Arreguín y Ochoa 1996). En el **anexo B** se muestra el desarrollo de esta metodología y en las tareas 7, 8 y 9 la integración en el balance de pérdidas de agua.

### TAREA 7. EVALUACIÓN DE FUGAS POTENCIALES EN CONEXIONES DOMICILIARIAS

El volumen de fugas potenciales en conexiones domiciliarias debes estimarlo a partir del estudio de dos muestras aleatorias estratificadas representativas de todo el sistema de distribución y realizando las mediciones de aforo e inspección de fugas indicado en el **anexo B**. Una vez que obtengas los datos de campo y análisis de resultados construye el cuadro 1.14.

Cuadro 1.14. Aforo de fugas en tomas domiciliarias.

Sector	Número de conexiones domiciliarias	Porcentaje de fugas (%)	Número de tomas con fuga	Gasto promedio de fuga por toma (ml/s)	Gasto total de fugas (l/s)
1	5,264	25	1,316	36	47.4
2	11,200	30	3,360	15	50.4
3	11,142	32	3,565	37	131.9
Promedio		29.8	8,241	28	229.7

#### NOTAS:

- \* *El número de tomas domiciliarias en toda la población es igual a 9,408 con cuota fija más 18,198 con micromedidor doméstico, que resultan 27,606 conexiones.*
- \* *En nuestro ejemplo, se aforaron un total de 237 fugas en tomas domiciliarias en toda la ciudad, de acuerdo al número de tomas inspeccionadas se determinó el porcentaje que presentan fugas, siendo éste de 29.8%.*
- \* *El tiempo medio de permanencia de las fugas es igual al del periodo de estudio (365 días).*

El gasto de fuga promedio es de 28 ml/s/toma con fuga, lo que arroja un gasto total de 229.7 l/s. Entonces el volumen total de pérdidas potencia-

les por fugas en conexiones domiciliarias resulta igual a  $229.7 \times 365 \times 86.4 = 7'243,819 \text{ m}^3$ , o sea que dividido entre el volumen suministrado de  $18'449,215 \text{ m}^3$  corresponde al 39.3 por ciento.

\* Anota el volumen de fugas potenciales en conexiones domiciliarias sobre la línea 18 de la hoja de trabajo.

## TAREA 8. EVALUACIÓN DE FUGAS POTENCIALES EN TUBERÍA PRINCIPAL Y SECUNDARIA

El volumen de fugas potenciales en la tubería principal y secundaria de la red de distribución puedes estimarlo a partir de mediciones de consumo en distritos hidrométricos (DH) representativos de zonas socioeconómicas, según se indica en el **anexo B**. Un distrito hidrométrico es un pequeño sector de la ciudad, (aproximadamente diez manzanas) que se aísla hidráulicamente para poder realizar estudios específicos de consumos, pérdidas, micromedición, etc. Con los datos y resultados que obtengas al aplicar la metodología indicada en dicho apéndice, debes elaborar el cuadro 1.15 para los distritos y el cuadro 1.16 para las pérdidas potenciales en todas las tuberías principales y secundarias.

Cuadro 1.15. Pérdidas totales en tuberías principales y secundarias en distritos hidrométricos de muestreo.

Distrito	Volumen abastecido en un día (m <sup>3</sup> /día)	No. de habitantes	Consumo unitario (litros/día)	Volumen consumido (m <sup>3</sup> /día)	Pérdidas totales (m <sup>3</sup> /día)	Volumen de fugas en líneas domiciliarias (m <sup>3</sup> /día)*	Volumen de pérdidas por usuarios no autorizados (m <sup>3</sup> /día)**	Volumen de fugas en tubería principal y secundaria (m <sup>3</sup> /día)
Z. Alta	786	1,583	288	379.1	406.9	326.3	10.4	68.2
Z. media	1,206	3,168	180	570	636	444	32.5	168.5
Z. popular	461	1,570	130	204	257	184	18.2	54.8
Z. comercial	696	1,001	-	252	344	270	22	52

\* Obtenido con base en la tarea 7

\*\* Obtenido con base en la tarea 9

En el ejemplo, al extrapolar a toda la red de la ciudad se obtienen los siguientes volúmenes de fugas en tubería principal:

**Zona alta.**- El distrito representa el 30 % de la red, es decir  $0.33 \times 309.25 \text{ km} = 92.78 \text{ km}$  y la longitud del distrito es de 3.56 km. Entonces el volumen de fugas potenciales por líneas principales y secundarias en la clase alta es 92.78 km, entre 3.56 km, por  $68.2 \text{ m}^3/\text{día}$ , por 365 días =  $648,756 \text{ m}^3$  en el periodo en estudio.

Cuadro 1.16. Pérdidas totales en tubería principal y secundaria en toda la red.

Zone	Longitud de la red del distrito (km)	Longitud que representa del total de la red (km)	Volumen de fugas en tubería principal y secundaria en el distrito (m <sup>3</sup> /día)	Volumen de fugas en tubería principal y secundaria en la red que representa (m <sup>3</sup> )
Alta	3.56	92.76 (30%)	68.2	648,756
Media	3.38	77.31 (25)	159.5	1'331,596
Popular	14.5	117.51 (38)	54.8	162,099
Comercial	9.25	21.65 (7%)	52	44,423
TOTAL	30.69	309.25	-	2'186,874

\* Anota el volumen de fugas potenciales en tubería principal y secundaria sobre la línea 19 de la hoja de trabajo.

## TAREA 9. ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS POTENCIALES POR CONSUMOS NO-AUTORIZADOS Y SUBSIDIOS

En determinadas ocasiones hay un volumen de agua que consumen usuarios que se conectan a la red sin autorización del organismo operador del sistema de agua potable (*usuarios clandestinos*) y se incorporan al listado de usuarios cuando son detectados. También existen otros usuarios que construyen alguna modificación a la conexión domiciliar que se encuentra registrada (*usuarios fraudulentos*), de tal suerte que alteran los registros de consumo reportados al organismo operador. Finalmente, algunas veces las estimaciones de consumo con cuota fija, determinados por el sistema de agua, resultan inferiores a los que deberían asignarse (*subsidios*).

Todo lo anterior repercute en que, dentro del balance de las pérdidas potenciales, aparezcan volúmenes que no pueden registrarse durante el periodo de estudio por estos actos de clandestinaje y fraude o por una subestimación de los consumos.

### Paso 9.1 Pérdidas potenciales por usuarios clandestinos

Con base en los distritos hidrométricos de muestreo utilizados en la tarea 8, marcar en cada uno de ellos los lotes que no estén en tu listado de usuarios. Después inspecciona en campo a cada uno de estos lotes, anota si se encontró alguna conexión que no corresponde con los registros. Se determina en cada distrito el volumen que estos usuarios clandestinos deberían consumir, para ello utiliza el consumo unitario del distrito. Así,

se deben extrapolar estos resultados hacia el toda la red que represente dicho distrito, usando longitudes de tubería. Realiza los cálculos y presenta los resultados como se muestra en el cuadro 1.17.

Cuadro 1.17. Pérdidas potenciales por usos clandestinos.

Zona	Número de tomas clandestinas en el distrito	Número total estimado de tomas clandestinas en toda la zona	Consumo unitario m <sup>3</sup> /toma/día	Volumen de pérdidas por usuarios clandestinos (m <sup>3</sup> )
Residencial	33	110	0.95	38,143
Media	80	320	0.72	84,096
Popular	54	142	0.52	26,952
TOTAL			-	149,952

*Nota: En el cálculo se consideraron cuatro habitantes por toma domiciliaria.*

### Paso 9.2 Volumen de pérdida potencial por usuarios fraudulentos

Análogamente al paso 9.1, en cada distrito hidrométrico se debe seleccionar de todos los usuarios, aquellos que en tus registros marquen consumos inferiores a los 10 m<sup>3</sup> por mes. Después inspecciona a cada uno de ellos y anota si se encontró alguna conexión ilegal. Construye el cuadro 1.18 como se te indica; realiza la extrapolación hacia el toda la red que represente dicho distrito, utilizando longitudes de tubería.

Cuadro 1.18. Pérdidas potenciales por conexiones fraudulentos.

Zona	Número estimado de conexiones fraudulentas en distrito	Número total estimado de conexiones fraudulentas en toda la zona	Consumo unitario menos 10 m <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> /toma/mes)	Volumen de pérdidas por usuarios no autorizados (m <sup>3</sup> )
Alta	86	287	28.6 - 10 = 18.6	63,984
Media	333	1,332	21.6 - 10 = 11.6	185,414
Popular	165	434	15.6 - 10 = 5.6	29,179
TOTAL	584		-	278,577

### Paso 9.3 Volumen de pérdida potencial por subsidios (aplicable a usuarios con cuota fija)

Al estimar el volumen de pérdida potencial por subsidios se te pueden presentar comúnmente dos casos:

- a) No dispones de estadísticas de consumo medido de agua y
- b) Dispones de estadísticas de consumo medido de agua.

a) No se dispone de estadísticas de consumo medido de agua.

Puedes actuar con alguno de los procedimientos siguientes:

- Instalar micromedidores calibrados y realizar una medición de volúmenes de agua consumida durante un mes con lecturas semanales, a muestras de usuarios que no tienen micromedidor y que están conectados al sistema, seleccionados aleatoriamente en la localidad en estudio, clasificados por las clases socioeconómicas. El tamaño de la muestra es de treinta usuarios mínimo por clase socioeconómica. Es necesario que diseñes una encuesta para aplicarla a los usuarios seleccionados, que contenga datos del número de habitantes en cada casa, frecuencia de estancia, adultos, niños, etcétera.

Con los registros obtenidos calcula el consumo doméstico unitario promedio (en l/hab/día) por cada clase socioeconómica, multiplica este valor por el número de habitantes de cada clase y por el número del periodo de estudio del balance (por ejemplo 365 días si seleccionaste un año), para obtener el consumo total de usuarios con cuota fija. *En nuestro ejemplo los valores estimados se muestran en el cuadro 1.19.*

Cuadro 1.19. Estimación de consumos domésticos con cuota fija.

CLASE	TAMAÑO DE MUESTRA (# DE MICROMEDIDORES)	CONSUMO UNITARIO ESTIMADO (litros/hab/día)	# DE HABITANTES EN LA LOCALIDAD SIN MICROMEDIDOR	CONSUMO ESTIMADO TOTAL POR CUOTA FIJA (litros)
Alta	30	236	2,964	257,482
Media	30	180	24,868	1'633,828
Popular	30	130	9,800	465,010
TOTAL	90	Promedio 183		2'356,320

\* Anota el valor del consumo doméstico total en la línea 12A de la hoja de trabajo.

- El segundo procedimiento consiste en determinar los consumos con base en el cuadro 1.20 (ref. Ochoa, 1994), que son valores de consumo unitario promedio, obtenidos de mediciones estadísticas en varias ciudades de México. El consumo doméstico, se calcula multiplicando los datos correspondientes de consumo unitario del cuadro, por el número de habitantes con cuota fija de cada clase socioeconómica. En este procedimiento el clima se define en función de la temperatura media anual de la localidad en estudio, según los rangos del cuadro 1.21.

Cuadro 1.20. Consumos unitarios (ref. Ochoa, 1994).

CLIMA	CONSUMO UNITARIO POR CLASE SOCIOECONÓMICA (litros/hab/día)		
	RESIDENCIAL	MEDIA	POPULAR
Cálido	400	230	185
Semicálido	300	205	130
Templado	250	195	100

Nota: Para los climas fríos se consideran los mismos valores que para clima templado.

Cuadro 1.21. Clima en función de la temperatura.

TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	TIPO DE CLIMA
Mayor que 22	Cálido
De 18 a 21.9	Semicálido
Menor que 18	Templado o frío

- Se dispone de estadísticas de consumo de agua.

Ordena por clase socioeconómica, los registros de usuarios que tienen micromedidor y calcula un consumo unitario por cada clase, dividiendo el volumen de consumo anual correspondiente entre 365 días y entre el número total de habitantes que cuentan con micromedidor. Después aplica el mismo procedimiento que en el caso anterior, para estimar el consumo doméstico de usuarios con cuota fija. *Por ejemplo, en nuestro caso el consumo unitario promedio para toda la población será de:*  
 $(5'016,314/365) / 18,198 \text{ tomas} / 4 \text{ habitantes por toma} \times 1000 = 189 \text{ l/hab/día}$ , que es un valor parecido al consumo unitario promedio obtenido con muestreo, según se explicó anteriormente.

Ahora bien, el volumen de pérdida potencial por subsidios, se debe obtener con la diferencia del volumen de consumo estimado total de usuarios con cuota fija, menos el volumen de consumo calculado en el paso 3.1 de la tarea 3 de este capítulo. *En este caso resultó de:*  $2'356,320 - 1'749,888 = 606,432 \text{ m}^3$ . *De este modo el volumen de pérdidas potenciales por consumos no autorizados y subsidios es de*  $149,191 + 278,277 + 606,432 = 1'034,200 \text{ m}^3$  *durante el periodo en estudio. Si comparamos este valor de*  $1'033,025 \text{ m}^3$  *con el residuo en la hoja de trabajo de la figura 3, igual a*  $934,846 \text{ m}^3$ , *se puede observar que existe una diferencia relativamente poco significativa que se presume corresponda con algún error no detectable en las mediciones o en el proceso contable. Por tanto se considera que el valor correcto de pérdidas potenciales por consumos no autorizados y subsidios es de*  $934,846 \text{ metros cúbicos}$ .



\* Anota el volumen de pérdidas potenciales por consumos no autorizados y subsidios sobre la línea 20 de la hoja de trabajo. No olvides utilizar la misma unidad de medida.

## ANÁLISIS DEL BALANCE

Los resultados del balance nos indican el tamaño del problema de pérdidas o agua no contabilizada, y ofrece indicios de la magnitud del problema particular de pérdidas por fugas en conexiones domiciliarias, fugas en la tubería principal y secundaria o volúmenes de agua por procesos comerciales. Para determinar las acciones correctivas que se deben implantar para reducir el volumen de pérdidas, es conveniente evaluar por un lado, los beneficios que se tendrían si se redujeran dichas pérdidas y, por otro, el costo de inversión para realizar la reducción. Así al determinar la relación beneficio-costos, se está en posibilidad definir la conveniencia de llevar a cabo un programa de reducción de fugas y el mejoramiento de los procesos de comercialización del agua.

Para realizar lo anterior, debes determinar; los volúmenes de agua que son susceptibles de recuperar; segundo, estimar los beneficios ocasionados por disminución de gastos de energía eléctrica, de cloración y los de operación y mantenimiento del manejo del agua que se pierde; tercero, calcular los costos del programa de reducción de agua no contabilizada, instalación de medidores, actualización del proceso de facturación, etc.; y cuarto, determinar la relación beneficio-costos del análisis del balance. *En el ejemplo que se ha venido desarrollando en la escrito, el resumen de los resultados se presenta en el cuadro 1.22.*

Cuadro 1.22. Resumen de resultados del ejemplo de balance de pérdidas.

CONCEPTO	VOLUMEN ANUAL (m <sup>3</sup> /año)	% RESPECTO AL VOLUMEN SUMINISTRADO (%)
Suministro de agua al sistema	18' 449,215	100.00
Consumo total medido	5'970,501	32.36
Consumos no medidos autorizados	2'071,294	11.23
Pérdidas totales de agua	10'407,420	56.41
Pérdidas identificadas y eliminadas	41,881	0.23
Pérdidas potenciales en el sistema	10'365,539	56.18
* Fugas en tomas domiciliarias	7' 243,819	39.26
* Fugas en tuberías	2' 186,874	11.85
* Agua no autorizada y subsidio	934,846	5.07

**Identifica las pérdidas reducibles**

No todas las pérdidas se pueden detectar y recuperar; sin embargo, se estima que el 73.3% de la pérdida potencial se puede recuperar (cuadro 1.23). Para calcular las pérdidas recuperables, se multiplica las pérdidas potenciales por 0.733. *En nuestro caso, equivale a reducir las pérdidas potenciales al 15 por ciento.*

Cuadro 1.23. Pérdidas reducibles.

CONCEPTO	Volumen anual (m <sup>3</sup> /año)	Porcentaje respecto al suministrado (%)	Volumen de pérdidas reducibles (m <sup>3</sup> /año)	Porcentaje respecto al suministrado (%)
<i>Pérdidas potenciales en el sistema</i>	10'365,539	56.18	5'701,046	30.90
* <i>Fugas en tomas domiciliarias</i>	7' 243,819	39.26	3'984,100	21.59
* <i>Fugas en tuberías</i>	2' 186,874	11.85	1'202,781	6.52
* <i>Agua no autorizada y subsidio</i>	934,846	5.07	514,165	2.79
* <i>Fugas en tuberías</i>				
* <i>Agua no autorizada y subsidio</i>				

\* Multiplica la línea 17 por 0.733 y entrar el producto en la línea 21 de la hoja de trabajo.

**Determina el beneficio de la reducción de las pérdidas**

Hay dos tipos de beneficios: 1) El beneficio ahorrado en la producción del agua (gastos de energía eléctrica y potabilización) y, 2) El beneficio por la operación y mantenimiento. De esta forma, el ahorro es igual al valor del agua recuperada; al reducir el agua no contabilizada se reduce el costo de producción de agua.

\* *Entra el costo por metro cúbico de agua producida sobre la línea 22A de la hoja de trabajo.*

Solamente hay que incluir los costos de operación y mantenimiento del agua entregada; los costos fijos que no varían con la cantidad de agua entregada no deben incluirse.

\* *Entra el costo por metro cúbico de agua por operación y mantenimiento sobre la línea 22B de la hoja de trabajo.*

\* *Suma las líneas 22A más 22B, para calcular el costo total por metro cúbico de agua; entra la suma sobre la línea 23 de la hoja de trabajo.*

Determina el beneficio de la recuperación de pérdidas, multiplicando el costo unitario por las pérdidas recuperables (para uno o dos años); multiplicar línea 21 por línea 23.

\* *Multiplica la línea 21 por la línea 23; entra el resultado en las línea 24 de la hoja de trabajo.*

### Calcular costo y tiempo de la recuperación de pérdidas

El costo de los trabajos de recuperación puedes estimarlos a través de la experiencia que tengan en el sistema de agua potable, y con los resultados del programa de control de pérdidas (capítulo 7). En este caso, se estima en  $10'106,000 + 800,000 + 12'203,000 = \$23'109,000$ .

\* *Entra el costo de los trabajos de la recuperación de pérdidas en la línea 25 de la hoja de trabajo.*

Para determinar la relación beneficio-costos, divide el valor total de las pérdidas recuperables, entre el costo total de recuperación.

\* *Divide la línea 24 entre la 25. Entra el resultado en la línea 26 de la hoja de trabajo.*

Si la relación beneficio-costos es más grande que 1, entonces el programa debe ser ejecutado.

*¡En nuestro caso, la relación beneficio-costos resultó igual a 1.51, por lo que se recomienda que el programa de recuperación se ejecute!*

## Referencias

American Water Works Association, *Water Audit and Leak Detection, Manual of Water Supply Practices*, AWWA M36, 1990, Denver, Colorado, USA.

Arreguín - Cortes, Ochoa - Alejo, *Evaluation of Water Losses in Distribution Networks*, American Society of Civil Engineers, Journal of Planning and Management, Accepted for Published, october 1996, USA.

Ochoa *et al.*, *Datos Básicos*, Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento; CNA, Libro V, 1<sup>era</sup> Sección, Tema 1, México 1994.

Scheaffer, Mendenhall, Ott, *Elementos de muestreo*, Editorial Iberoamericana, 1986.

Murray R. S., *Probabilidad y estadística*, McGraw - Hill, serie Schaum, 1981.

## Anexo 1.A Formato de la hoja de trabajo del balance de pérdidas de agua

Para: \_\_\_\_\_ Periodo de estudio: \_\_\_\_\_  
 Unidad: \_\_\_\_\_

### Tarea 1. CUANTIFICACIÓN DEL SUMINISTRO DE AGUA

LÍNEA	CONCEPTO	CANTIDAD	ACUMULADO
1	Suministro total de agua al sistema de distribución sin corregir		
2	Ajustes al suministro total de agua		
	2A Error en exactitud de medidores de la fuente de abastecimiento (+ ó -)		
	2B Cambio en reservas y tanques de almacenamiento (+ ó -)		
	2C Otras contribuciones o pérdidas (+ ó -)		
3	Total de ajustes en suministro total de agua (sumar líneas 2A, 2B y 2C)		
4	<i>Suministro total ajustado de agua al sistema de distribución (sumar líneas 1 y 3)</i>		

### Tarea 2. ESTIMACIÓN DE CONSUMOS MEDIDOS AUTORIZADOS

LÍNEA	CONCEPTO	CANTIDAD	ACUMULADO
5	Consumo medido total del agua registrado sin corregir		
6	Valores de ajuste ante retrasos en la lectura del medidor (+ ó -)		
7	Consumo total registrado ajustado por retrasos de lectura (sumar líneas 5 y 6)		
8	Correcciones por exactitud de medidores		
	8A Error en medidores residenciales		
	8B Error en medidores comerciales, industriales y especiales		
9	Error total en exactitud de medidores (sumar líneas 8A y 8B)		
10	<i>Consumos totales de agua medidos y corregidos (sumar líneas 7 más 10)</i>		

11	<i>Agua total no registrada (restar línea 10 de la 4)</i>		
----	---	--	--

**HOJA DE TRABAJO DEL BALANCE DE PÉRDIDAS DE AGUA (continuación)**

Para: \_\_\_\_\_ Periodo de estudio: \_\_\_\_\_  
Unidad: \_\_\_\_\_

**Tarea 3. ESTIMACIÓN DE CONSUMOS NO-MEDIDOS AUTORIZADOS**

LÍNEA	CONCEPTO	CANTIDAD	ACUMULADO
12	Uso del agua no medida autorizada		
12A	Usuarios domésticos con cuota fija		
12B	Reparación de tuberías		
12C	Procesos de plantas de tratamiento		
12D	Escuelas		
12E	Parques públicos		
12F	Agua para incendio		
12G	Otros servicios		
13	<b>Consumo total no medido autorizado (sumar líneas 12A hasta la 12G)</b>		

**Tarea 4. ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS TOTALES DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE**

14	<b>Pérdidas totales de agua (restar línea 13 de la 11)</b>		
----	--	--	--

**Tarea 5. ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS IDENTIFICADAS Y ELIMINADAS**

LÍNEA	CONCEPTO	CANTIDAD	ACUMULADO
15	Identificación de pérdidas de agua		
15A	Fugas reparadas		
15B	Conexiones no autorizadas localizadas		
15C	Derrames en tanques y cárcamos de bombeo		
15D	Evaporación en depósitos abiertos		
15E	Errores descubiertos en el proceso contable		
15F	Otras pérdidas		
16	<b>Pérdidas totales de agua identificadas y eliminadas (sumar líneas 15A hasta la 15F)</b>		

**Tarea 6. ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS POTENCIALES EN EL SISTEMA**

17	<b>Pérdidas potenciales de agua en el sistema (restar línea 16 de la 14)</b>		
----	--	--	--

**HOJA DE TRABAJO DEL BALANCE DE PÉRDIDAS DE AGUA (continuación)**

Para: \_\_\_\_\_ Periodo de estudio: \_\_\_\_\_  
Unidad: \_\_\_\_\_

**Tarea 7. EVALUACIÓN DE FUGAS POTENCIALES EN CONEXIONES DOMICILIARIAS**

LÍNEA	CONCEPTO	CANTIDAD	ACUMULADO
18	<i>Volumen de fugas en tomas domiciliarias</i>		

**Tarea 8. EVALUACIÓN DE FUGAS POTENCIALES EN LÍNEAS PRINCIPALES Y SECUNDARIAS**

LÍNEA	CONCEPTO	CANTIDAD	ACUMULADO
19	<i>Volumen de fugas en líneas principales y secundarias</i>		

**Tarea 9. ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS POTENCIALES POR CONSUMOS NO AUTORIZADOS Y SUBSIDIOS**

LÍNEA	CONCEPTO	CANTIDAD	ACUMULADO
20	<i>Volumen de pérdidas por consumos no autorizados</i>		

**ANÁLISIS DEL BALANCE**

21	<i>Volumen de pérdidas potenciales reducible (multiplicar línea 17 por 0.75)</i>		
----	--	--	--

LÍNEA	CONCEPTO	PESOS POR UNIDAD DE VOLUMEN
22	Reducción de costos	
22A	Costo del suministro de agua	
22B	Costos de mantenimiento y operación	
23	<i>Costos totales por unidad de pérdidas reducibles (sumar líneas 22A y 22B)</i>	

LÍNEA	CONCEPTO	PESOS POR AÑO
24	<i>Beneficio anual de pérdidas reducibles (multiplicar líneas 21 X línea 23)</i>	
25	<i>Costos totales del proyecto de reducción de pérdidas</i>	
26	<i>Relación beneficio - costo (dividir línea 24 entre la línea 25)</i>	

**Preparado por:**

**Nombre:** \_\_\_\_\_

**Cargo:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_\_\_

## Anexo 1.B Evaluación por muestro de pérdidas potenciales de agua potable

El método de muestreo para la discriminación del agua no contabilizada en sistemas de distribución de agua constituye un proceso novedoso y confiable para evaluar pérdidas de agua en sistemas de distribución. El procedimiento ayuda a asegurar que los resultados sean estadísticamente representativos, y parece ser relativamente eficiente y potencialmente menos costoso que otras técnicas de estimación similares. El método propone que las pérdidas sean estimadas como sigue:

- Con estudios de campo se determinan consumos reales ( $V_c$ ) de usuarios; una estimación de volúmenes perdidos por fugas en tomas domiciliarias ( $V_{hcl}$ ); y el porcentaje de tomas respecto al total que presentan fuga.
- Las pérdidas de las tuberías principales y secundarias ( $V_{nl}$ ) se calculan a partir del análisis de indicadores de áreas aisladas hidráulicamente (distritos hidrométricos, DH), restando los valores obtenidos de los estudios de campo de tomas domiciliarias y del volumen suministrado ( $V_p$ ) a la red.
- Para afinar la estimación de los volúmenes de pérdida física en la tubería, se estima el error debido a la submedición de micromedidores ( $V_m$ ) y las conexiones no-autorizadas ( $V_{uc}$ ). Los errores de submedición se determinan con otro estudio de campo. Los volúmenes de pérdida por conexiones no-autorizadas se estiman de una comparación censal de lotes y de registros mensuales con valores menores de  $10 \text{ m}^3$  por usuario.
- Los errores de facturación ( $V_{be}$ ) pueden ser calculados restando las variables cuantificadas antes del volumen abastecido (ecuación b.1).

$$V_{be} = V_p - V_c - V_{hcl} - V_{nl} - V_m - V_{uc} \quad (\text{b.1})$$

### B.1 Evaluación de fugas en tomas domiciliarias

El porcentaje y volumen de agua perdida por fugas en tomas domiciliarias se estima de dos muestras aleatorias simples, cuyos tamaños son determinados de la teoría de muestreo estratificado. Una población con  $N$  tomas domiciliarias, se divide en estratos homogéneos  $N_1, N_2, \dots, N_i$ . Para cada estrato, se calcula la muestra aleatoria simple,  $n_i$ , y se seleccionan las to-



mas domiciliarias para su observación. De esta manera, se logra tener estimadores de los valores de fugas de todas las tomas domiciliarias de dicha población P.

### *Primer paso*

Sobre un plano de la red de distribución a escala 1:10,000, se trazan estratos homogéneos. El número de estratos en que se dividirá la ciudad para hacer la estimación de las muestras, están en función del tamaño de la población como se muestra en el cuadro b.1. Los estratos homogéneos están conformados por colonias de usuarios en donde sea mínima la variación de los parámetros más significantes, que inciden en el volumen perdido por fugas así como su ocurrencia. De la experiencia obtenida de la aplicación del método en 15 ciudades de la república mexicana, los parámetros principales a considerar son; *la presión y el porcentaje de ocurrencia de fugas*.

- La variación de la presión en la red, no debe ser mayor que 0.5 kg/cm<sup>2</sup>, en dos puntos cualesquiera de la red del estrato.
- La ocurrencia anual de fugas registrada debe estar en cada estrato en un intervalo máximo del 10% (por ejemplo: 0-10%, 11-20%, 21-30%, 31-40%, etcétera).

Entonces, un estrato con cierto rango de presión podrá contener a uno o más estratos de ocurrencia de fugas similar. Desde luego se logrará un detalle mayor en los resultados si el número de estratos es grande, sin embargo el costo del estudio se incrementa rápidamente con el número de estratos. Se realizó un análisis de sensibilidad con la información de las 15 ciudades. El incremento en costo del estudio al aumentar el nivel de confianza de 95 a 99%, es del orden del 80% por ciento.

Cuadro b.1. Número de estratos según el tamaño de la población.

	Tamaño de la población (en miles)				
	10-50	50-150	150-300	300-700	700-1000
Número de estratos	4-6	6-8	8-10	10-14	16

### *Importante*

Cuando no se disponga de registros históricos de ocurrencia de fugas, se realizará una encuesta piloto, de los reportes de las cuadrillas de repara-

ción del organismo operador, de al menos 15 días; para ello se diseñará un formato que contenga los datos de falla, lugar, elemento del sistema, **gasto de la fuga**, tipo de material del suelo y tubería, etc.; los datos serán colectados por las cuadrillas durante su trabajo. En el caso extremo de que sea prácticamente imposible determinar los porcentajes, se supondrá un valor de ocurrencia del 25% y un gasto de fuga de 60 ml/s en forma general; estos valores se irán actualizando conforme se obtengan resultados del avance en las mediciones de campo.

### *Segundo paso*

Se determina el número de tomas domiciliarias existentes en cada estrato, utilizando el listado de usuarios del sistema; el listado debe ser obtenido de la versión más actualizada del organismo operador, debe contener las direcciones de todas las tomas domiciliarias, de tal forma que se puedan identificar rápidamente.

### *Tercer paso*

Con los registros históricos de reportes de fugas, se calculan los porcentajes promedio de ocurrencia de fugas en cada sector y se estiman los valores promedio de caudales producidos por las fugas.

### *Cuarto paso*

Se seleccionan el nivel de confianza y el error en la estimación; se calculan los tamaños de muestra total, para inspección y aforo de fugas en tomas domiciliarias, con las ecuaciones b.2 y b.3; estas muestras se distribuyen en los estratos en proporción al número de tomas domiciliarias existentes en cada uno de ellos; los resultados se anotan conforme al cuadro b.2; No olvidar que el número mínimo de tamaño de muestra en un sector es de 30 tomas domiciliarias y que se corregirá el tamaño de muestra por población pequeña.

### *Quinto paso*

El porcentaje de tomas domiciliarias con fuga se determina inspeccionando en campo cada una de las tomas domiciliarias de la muestra seleccionada aleatoriamente. El tamaño de la muestra,  $n_p$ , se calcula con la ecuación b.2.

Cuadro b.2. Tamaños de muestra para inspección y aforo de fugas en tomas domiciliarias.

Número de Sector (i)	Número de tomas (N <sub>i</sub> )	Porcentaje anual de fugas en tomas (P <sub>i</sub> )	Caudal medio de fugas (Q <sub>i</sub> ) (m <sup>3</sup> /s)	Tamaño de muestra para inspección (n <sub>o</sub> )	Tamaño de muestra para aforo (n <sub>a</sub> )
1					
2					
3					
⋮					
i					
TOTAL					

$$n_o = \frac{Z_c^2}{Nd^2} \left[ \sum N_i P_i (100 - P_i) \right] \quad (b.2)$$

Donde:

$Z_c$  = Abscisa de la curva de probabilidad de distribución normal, para un nivel de confianza dado.

$N$  = Número total de tomas domiciliarias en el sistema de distribución

$d$  = Error de la estimación, en porcentaje.

$N_i$  = Número total de tomas domiciliarias en cada estrato  $i$ .

$P_i$  = Porcentaje d ocurrencia de fugas en el estrato  $i$ .

No olvides que el estrato  $i$  corresponde a zonas de presión homogéneas con porcentajes similares de ocurrencia de fugas dentro del sistema de distribución. El error en la estimación,  $d$ , representa la máxima diferencia, entre el porcentaje de fugas obtenido en la muestra y el porcentaje esperado; a menor error en la estimación, el valor esperado es más cercano al estimado estadísticamente, y viceversa. Un valor recomendado del error en la estimación es 5% por ciento.

El tamaño de la muestra,  $n_o$ , obtenido con la ecuación b.2, corresponde al número total de tomas domiciliarias que deben ser inspeccionadas en toda la red de distribución. Puesto que la red está dividida en estratos, las observaciones de la muestra deberán distribuirse entre los estratos en proporción al número de tomas domiciliarias de cada uno, para obtener estimaciones para cada estrato. Para asegurar que la muestra sea representativa, el número mínimo de tomas domiciliarias que deben ser observadas en cada estrato es 30; valores de muestra inferiores a este número, se tratarán como muestras pequeñas. Para efectos prácticos en la cuadro b.3 se presentan los tamaños de muestra calculados para un nivel de confianza del 95 % y un error en la estimación del 5 %. Del listado de usuarios se seleccionan con una tabla de números aleatorios las tomas domi-

liarias que se inspeccionarán; las tomas elegidas se relacionan en los formatos de medición.

Los porcentajes de fugas,  $P_i$ , se pueden obtener de las estadísticas mensuales de fugas del sistema de abastecimiento, de una encuesta o considerar 25%, como valor promedio en sistemas de agua potable, en caso extremo podría aceptarse el valor más conservador de  $P_i = 50\%$ , este porcentaje inicial debe ser ajustado conforme se obtengan resultados de campo con el muestreo. Durante este proceso se obtendrán errores en la estimación, que no afectan la validez de los porcentajes supuestos inicialmente. El error aceptado finalmente será función del costo que se desee asociar al proyecto. El tamaño de la muestra debe ser corregido en poblaciones pequeñas, usando la ecuación b.3.

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} \quad (\text{b.3})$$

Cuadro b.3. Tamaño de la muestra.

(Ni/N)* 100	Porcentaje de fugas ( $P_i$ ) por estrato									
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
0.5 - 5.0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
5.1 - 10.0	30	30	30	30	32	35	37	48	39	
10.1 - 15.0	30	30	37	43	48	53	56	72	58	
15.1 - 20.0	30	40	49	58	65	70	74	96	77	
20.1 - 25.0	35	50	62	72	81	88	93	120	96	
25.1 - 30.0	41	60	74	86	97	105	111	144	116	
30.1 - 35.0	48	69	86	101	113	123	130	168	135	
35.1 - 40.0	55	78	98	115	129	140	148	192	154	
40.1 - 45.0	62	88	111	130	145	158	167	216	173	
45.1 - 50.0	69	98	123	144	162	175	185	240	193	
50.1 - 55.0	76	108	135	158	178	193	204	264	212	
55.1 - 60.0	83	118	148	173	194	210	222	288	231	
60.1 - 65.0	90	127	160	187	210	228	241	312	250	
65.1 - 70.0	97	137	172	202	226	245	259	336	270	
70.1 - 75.0	104	147	185	216	242	263	278	360	289	
75.1 - 80.0	110	157	197	230	258	280	296	384	308	

*Sexto paso*

Después se realizan las mediciones de inspección para observar si existe una fuga o no y en su caso realizar el aforo de la fuga. La inspección física de tomas domiciliarias se lleva a cabo, basándose en los métodos de detección de fugas por caída de presión diferencial o por sonido. Para confirmar la sospecha de fuga, se procede a efectuar excavación en la toma domiciliaria en cuestión. Para cada toma domiciliaria inspeccionada en la muestra, se asigna un valor de 1 si aparece con fuga, en caso contrario, un valor de cero (una fuga se considera, cualquier escape de agua, desde la inserción de la toma hasta el micromedidor). **No olvidar, que las tomas domiciliarias que presenten fuga, pertenecen a la muestra de aforo y deberán medirse con el procedimiento descrito en aforo** (ver el séptimo paso). Se extrapola el número de fugas de cada estrato de la muestra y se totalizan todos los estratos para calcular el porcentaje de fugas de la población.

*Séptimo paso*

El volumen de agua perdido por fugas en tomas domiciliarias se calcula con el tamaño de la muestra,  $n_a$ , utilizando la ecuación b.5. Aquellas tomas domiciliarias que tuvieron fuga y que fueron localizadas en el sexto paso deben ser incluidas aquí.

$$n_a = \left( \frac{Z_c^2}{d_q^2 N} \right) \sum S_{qi}^2 N_i \quad (\text{b.5})$$

Donde,

$S_{qi}$  = desviación estándar del gasto de fuga en tomas domiciliarias del estrato  $i$ , en ml/s.

$d_q$  = error de la estimación, ml/s

La desviación estándar puede ser calculada utilizando la ecuación b.6.

$$S_{qi}^2 = \frac{\sum (q_i - q_{aver})^2}{N_m - 1} \quad (\text{b.6})$$

Donde,

$q_i$  = gasto de fuga medido  $i$ , ml/s

$q_{aver}$  = gasto de fuga promedio del estrato  $i$ , ml/s

$N_m$  = número total de fugas medidas en el estrato  $i$ .

Al iniciar un muestreo aleatorio de fugas no se sabe cuál es la desviación estándar del gasto de fugas,  $S_{qi}$ , en cada estrato; por esto se puede estimar dicho dato a partir del aforo de las fugas encontradas durante la inspección. Así pues, el tamaño de muestra (calculada con la ecuación b.2

u obtenida del cuadro b.3) se deberá ajustar conforme se vaya obteniendo información de campo del gasto de fuga en tomas domiciliarias, mediante la ecuación b.5. Si el tamaño de muestra ( $n_p$ ) obtenido del ajuste, resulta mayor que el obtenido con la ecuación b.2 o con el cuadro b.3, ésta deberá ser distribuida en los diferentes estratos en que se dividió la ciudad.

#### *Octavo paso*

El trabajo de campo para hacer el aforo de las fugas en las tomas domiciliarias seleccionadas aleatoriamente se puede hacer de dos formas:

- \* Con un recipiente graduado y un cronómetro, midiendo directamente el volumen contra tiempo, cuando aparezca la fuga en conexiones o elementos superficiales de la toma.
- \* Mediante un método indirecto, cuando las conexiones están enterradas, que consiste en medir el caudal en la llave más próxima a la calle, antes de excavar y reparar la fuga, desconectando la tubería e impidiendo el paso hacia la casa; después se excava y se repara la fuga, o se sella momentáneamente, y se vuelve a medir el caudal en la misma llave, de tal manera que la diferencia entre los caudales inicial y final es el correspondiente al gasto de fuga; cada medición se realiza tres veces como mínimo. Este procedimiento de aforo descrito es válido, siempre y cuando entre la primera medición de caudal y la última, no exista una variación de la presión en la red (menor al 10%).

#### *Noveno paso*

Los volúmenes unitarios promedio de fuga,  $V_{afr}$ , determinados de las mediciones de las tomas domiciliarias en cada estrato se multiplican por el total de conexiones con fugas del primer estudio de campo. Este valor es el total de volumen de fugas por estrato. La suma total de estos volúmenes proporciona las pérdidas totales,  $V_{hcl}$ , en toda la ciudad.

Si el suministro de agua es intermitente en algunas porciones de la ciudad, las pérdidas de tomas domiciliarias se modifican multiplicando las pérdidas de cada estrato por el periodo en que el agua es suministrada.

#### *Décimo paso*

Adicionalmente a los valores de volúmenes de pérdidas, durante el aforo de las fugas se hace un reporte de las características de la fuga, como son: material de la tubería, tipo de falla, suelo, profundidad, etc., para interpretar las posibles causas del problema. **No olvidar que todos los registros de campo de las mediciones deberán presentarse en formatos como el del cuadro b.4**

## Cuadro b.4. Formato para registros de campo de tomas domiciliarias.

**1. DATOS GENERALES DE LA TOMA DOMICILIARIA**

Nombre del usuario..... Domicilio.....  
Sector..... Ciudad..... Fecha..... Hora..... No. de toma.....

**2. PRESIONES (kg/cm<sup>2</sup>)**

Enfrente	Lado	Lado	Domicilio	Lado	Lado	Probable fuga	
						si ( )	no ( )

**3. MATERIAL DE LA TOMA DOMICILIARIA INSPECCIONADA**

Tipo de tubería de la toma				
Fierro galvanizado	Poliétileno	Cobre	Poliducto	PVC

**4. Ubicación del domicilio (croquis)**

**5. EXCAVACIÓN: Profundidad respecto al nivel de la calle..... cm**

Tipo de pavimento a lo largo de la toma					Estado del pavimento	
Concreto	Asfalto	Terracería	Empedrado	Otro	Bueno	Deteriorado
MATERIAL DE EXCAVACIÓN						
Arena	Grava	Tezonite	Tierra	Arcilla	Roca	Piedras Otros

**6. MATERIAL DE TUBERÍA DE LA TOMA CON FUGA. Diámetro..... p/g.**

Tipo de tubería de la toma con fuga					Estado	
Fierro galvanizado	Poliétileno	Cobre	Poliducto	PVC	Bien	Mal

**7. LUGAR DE LA FUGA**

Abrazadera	Niple o cople	Codo	Tubería flexible	Tubería rígida	Tuerca unión del medidor	Llave de paso	Otro

**8. Causa de la fuga**

a) Tubería vieja ( )  
b) Mala instalación ( )  
c) Paso de vehículos ( )  
d) Poca profundidad ( )  
e) Corrosión ( )  
f) Calidad de los materiales  
Tubería ( )  
Accesorios ( )  
g) Alta presión ( )  
h) Otros ( )

**SEÑALAR EL LUGAR DE LA FUGA**

**9. TIPO DE FUGA**

Rajadura	Perforación	Rotura	Corte	Rosca floja	Otro (especificar)

**11. REPARACIÓN: HORA DE**

inicio.....Hrs  
terminación.....Hrs  
12. No. DE PERSONAS EN BRIGADA  
13. EQUIPO DE MEDICIÓN UTILIZADO

**10. AFORO DE FUGAS. SIN SELLAR Y EXCAVADA**

No. de medición	Antes de repar. Vol. (ml) y T. (s)	Desp. de repar. Vol. (ml) y T. (s)

PRESIÓN DE LA TOMA.....kg/cm<sup>2</sup>

## B.2 Evaluación de fugas en tuberías principales y secundarias

Para estimar el volumen de fugas en las tuberías principales y secundarias de la red, se aplica la teoría de muestreo estratificado simple aleatorio combinado con la técnica de distritos hidrométricos (DH). Un DH es un grupo de tubería conectada con la red de distribución que puede ser aislado desde el punto de vista hidráulico, por medio de maniobras en las válvulas de seccionamiento. A la entrada del DH se instala una estación de aforo y se realizan mediciones de los volúmenes abastecidos,  $V_s$ , y de los volúmenes consumidos por usuarios,  $V_{\text{chd}}$ , en todo el distrito o a una muestra de usuarios representativa, durante un periodo mayor a 24 horas.

Los estratos en este caso, a diferencia del muestreo para fugas en tomas domiciliarias, están constituidos por zonas de tubería principal y secundaria, que tengan variaciones mínimas en el uso del agua y en la frecuencia de las fugas. Así, los distritos hidrométricos deben ser conformados con base en el siguiente criterio de muestreo:

- a) Sobre un plano de la red se efectúa una división de la ciudad en estratos con similar nivel socioeconómico, puesto que hay una fuerte relación entre este factor y el uso del agua. Los estratos deben estar definidos en función del grado de urbanización de la población: estratos residencial, medio, popular y centro de la ciudad.
- b) Los estratos deben ser divididos a su vez subestratos homogéneos con respecto a la frecuencia anual de fugas en las líneas principales y secundarias de la red, considerando la clasificación presentada en el cuadro b.5:

Cuadro b.5. División de subestratos según frecuencia anual de fugas.

SUBESTRATO	FRECUENCIA ANUAL DE FUGAS (%)
1	0 a 10
2	11 a 20
3	21 a 30
4	31 a 40
5	41 a 50

Estos porcentajes se calculan dividiendo el número de fugas que ocurren en el subestrato entre el número total de fugas reportadas en un año en el estrato. Cualquier estrato dado estará dividido en uno, dos, tres o más subestratos, según la variabilidad en el número de fugas que se observe.

- c) Se establece un DH representativo en cada subestrato. El tamaño total del DH, dado en tramos de tuberías,  $K_0$ , se calcula con la ecuación b.7.



$$K_o \left( \frac{Z_c^2}{K d_k^2} \right) \left[ \sum K_j P_j (100 - P_j) \right] \quad (b.7)$$

Donde,

$Z_c$  es la abscisa de la curva de distribución normal para un nivel de confianza dado.

$K$  es el tamaño de toda la red de distribución, en tramos.

$d_k$  es el error de la estimación, en porcentaje.

$K_j$  es el número total de tramos en cada subestrato  $j$ .

$P_j$  es el porcentaje anual de frecuencia de fugas en líneas principales y secundarias de cada subestrato,  $j$ .

Al igual que en el muestreo para tomas domiciliarias, se debe realizar una corrección para poblaciones pequeñas, usando la ecuación b.3. Si el resultado es menor que 30, se deberán estudiar un mínimo de treinta tramos en un DH. También se puede obtener el tamaño de los distritos hidrométricos usando la información del cuadro b.3, como se puede observar las ecuaciones b.3 y b.7 son similares, sólo cambian los parámetros para la obtención de la muestra según sea el tipo de muestreo, los valores del cuadro b.3 se calcularon en base a estas ecuaciones, por eso es posible calcular el muestreo con este cuadro para ambos análisis.

Una vez que los DH se han seleccionado, se revisan las válvulas de cierre. Se verifica el aislamiento de éstos y la presión con y sin cierre debe permanecer constante y no afectar a otras áreas de la red. La dirección del flujo debe ser hacia el distrito. El DH debe ser aislado 48 horas antes de la observación y mantener un abastecimiento continuo para normalizar el servicio. Después de este tiempo se debe registrar la variación del flujo que entra hacia el DH por 24 horas continuas. Simultáneamente, debe determinarse el consumo *per cápita*, para esto se seleccionan varios usuarios aleatoriamente, y serán representativos de los DH, a éstos se les instalarán micromedidores calibrados previamente. Se elabora una encuesta en cada DH para obtener el número total de usuarios, de ellos se seleccionan con una tabla de números aleatorios las casas donde se instalarán los medidores. El tamaño de muestra se obtiene con la ecuación b.9, en caso de no contar con información estadística de consumos, se deberán seleccionar treinta usuarios por distrito hidrométrico; conforme se avanza en el estudio, y se obtenga información de campo sobre consumos, el tamaño de la muestra se deberá ajustar con la ecuación b.8

Los valores de  $d_c$  y  $S_c$  se obtienen de las estadísticas de consumos medios mensuales registrados por el organismo. El registro de datos en los

medidores seleccionados, se realiza cada semana durante un mes, señalando el número de personas que viven en cada casa. Después, con los datos de los volúmenes semanales se calculan los consumos individuales de cada DH (litros por habitante y por día) y se multiplica este valor por el número total de usuarios y por el periodo de medición en el DH, para determinar el volumen de consumo total correspondiente,  $V_{chd}$ . El volumen de fugas de la tubería principal y secundaria,  $V_{hd}$ , de la red del DH se calcula restando del volumen abastecido,  $V_s$ , el volumen consumido,  $V_{chd}$  y el volumen de fugas detectado en tomas domiciliarias,  $V_{hhd}$ . Este último volumen se obtiene al multiplicar el volumen medio de fugas,  $V_{air}$ , por el porcentaje estimado de fugas en tomas domiciliarias del estrato y por el número de tomas domiciliarias. El volumen de fugas en la tubería principal y secundaria,  $V_{nl}$ , se obtiene al multiplicar el volumen de fugas de cada DH, por la proporción de tramos de tubería del estrato que representa. Información adicional puede obtenerse de las mediciones de flujo en los DH, sobre índices de consumo mínimo nocturno ICMN, que se calculan en porcentaje dividiendo el volumen abastecido al DH entre 24 horas y este resultado entre el volumen mínimo registrado (generalmente a las 0:00-5:00 del día); valores superiores del 20% de ICMN, implican una sospecha de gran incidencia de fugas en la red de distribución.

$$n_c = \frac{Z_c^2 S_c^2}{d_c^2} \quad (b.8)$$

Donde:

$S_c$  = Desviación estándar del consumo medio estimado de los usuarios, en l/hab/día

$d_c$  = error de la estimación, l/hab/día

El porcentaje de la red de cada estrato ( $P_r$ ): Es la relación del número de tramos de la red de cada estrato (o la longitud de la red de cada estrato en km) entre el número total de tramos de toda la red principal (o la longitud total de la red en km, según sea el caso) de la ciudad y multiplicado por cien (ecuación b.9):

$$P_r = (N_i/N) 100. \quad (b.9)$$

Con los valores del porcentaje de la red ( $P_r$ ) y el porcentaje de fugas ( $P_f$ ) en la red en cada estrato, se calcula el tamaño del distrito hidrométrico para hacer la evaluación de fugas como se muestra en el cuadro b.6, estos valores se obtuvieron del cuadro b.3.

Cuadro b.6. Ejemplo de cálculo del tamaño de los distritos hidrométricos.

No. de estrato	Red principal por estrato en (%) ( $P_i$ )	Fugas por estrato en la red de distribución en (%) ( $P_d$ )	No. de tramos del distrito hidrométrico
1	18	20	49
2	20	25	58
3	14	15	30
4	22	20	62
5	18	25	58
6	10	15	30
Total			287

### B.3 Evaluación de sub y sobremedición

La sub y sobremedición se refiere a la cantidad de agua registrada por el micromedidor en más o menos el valor real del flujo. Estos valores se determinan verificando una muestra representativa de micromedidores seleccionadas aleatoriamente. Se debe preparar un censo de los medidores instalados que contenga datos mensuales de consumos y fallas de medidores. Se clasifican los medidores por marca y por rango de flujo de operación. Esta clasificación (no estratificación) se debe a que la exactitud de un medidor varía notablemente con estos parámetros de la forma siguiente:

- Marca.- La fabricación y diseño del aparato ofrecen diferentes curvas de exactitud.
- Rango de flujo. Definidos en la curva de exactitud del medidor (el aparato tiene más o menos error):
  - inferior: menos del 5% del gasto nominal (especificado por el fabricante).
  - normal : entre el 5 y el 100% del gasto nominal.
  - superior: más del 100% del gasto nominal.

Después, se determinan los porcentajes de falla de los medidores instalados por colonias o zonas, para formar estratos con porcentajes de falla similar o con mínima variación estadística de falla. Dentro de cada estrato se define la cantidad de medidores que están funcionando en un mismo rango de flujo y con ello el porcentaje correspondiente. El tamaño de la muestra se determina con la ecuación b.2 y los micromedidores a verificar se distribuyen equitativamente entre los distintos estratos que se seleccionan. En este caso, en la ecuación b.2, el porcentaje  $P_i$  es el valor del porcentaje de medidores que se encuentran en uno u otro rango de flujo.

El volumen de sobre o submedición de cada aparato individual se determina midiendo el volumen que se descarga por la llave más próxima a la calle a un recipiente graduado y calibrado, y restándolo del que se registra en la carátula del medidor. Se puede utilizar un medidor calibrado en su lugar. Con los datos se calcula un volumen promedio de sub y sobremedición en cada estrato y por marca. Estos valores representativos de sub y sobremedición, para cada estrato, se extrapolan a la población general y, restando el valor total de sub o sobremedición, se obtiene una estimación de las pérdidas debidas a la submedición,  $V_m$ . La pérdida total (en valor absoluto) determinada por este procedimiento no es un indicador de la precisión de cada marca de aparatos, sino un medio para estimar volúmenes netos de pérdida por imprecisión de dichos aparatos, se acepta un error del orden del 4% por este concepto en sistemas de países desarrollados.

#### **B.4 Evaluación de pérdidas por conexiones no-autorizadas y error de facturación**

Se entiende por conexión no-autorizada a alguno de los dos casos siguientes: a) Una conexión domiciliaria que está instalada en la red de agua potable, pero no se encuentra registrada en el listado de usuarios y b) Una conexión que esta instalada y registrada, pero que tiene una instalación adicional fraudulenta, que permite el paso del agua al domicilio de manera ilegal.

La estimación de la pérdida por conexiones no-autorizadas se realiza a través de una muestra representativa de todas las conexiones que se sospeche están en esta situación, para lo cual se forman dos grupos: las que presenten volúmenes de consumo inferiores a  $10 \text{ m}^3/\text{mes}$ ; y las que se identifiquen en un plano de lotificación de la ciudad y que no correspondan con los listados de usuarios registrados. El tamaño de la muestra se calcula con la ecuación b.2, pero considerando que  $P_i$  es el porcentaje de uno u otro tipo de conexión no-autorizada. Posteriormente mediante investigación de campo se revisa la instalación seleccionada y se estima su volumen de pérdida; con los datos de todas las revisiones se determina el volumen total de pérdida por conexiones no autorizadas,  $V_{uc}$ . Finalmente, el volumen de pérdidas por error en la facturación  $V_{be}$ , se calcula utilizando la ecuación b.1.

#### **EJEMPLOS**

*Ejemplo uno.* Cálculo del tamaño de muestra para la inspección y aforo de fugas en tomas domiciliarias.

Para ilustrar los procedimientos indicados anteriormente, se presenta un

ejemplo práctico para el cálculo del tamaño de muestra total y por estrato para la inspección y aforo de fugas en tomas domiciliarias. Estimar la muestra para un 95 % de confianza y un error en la estimación del 5%. En el cuadro B.7 se presentan los valores de  $Z_c$ , para diferentes porcentajes de confianza.

Cuadro B.7. Valores de  $Z_c$ .

Confianza (%)	90	95	99.9
$Z_c$	1.29	1.96	3.09

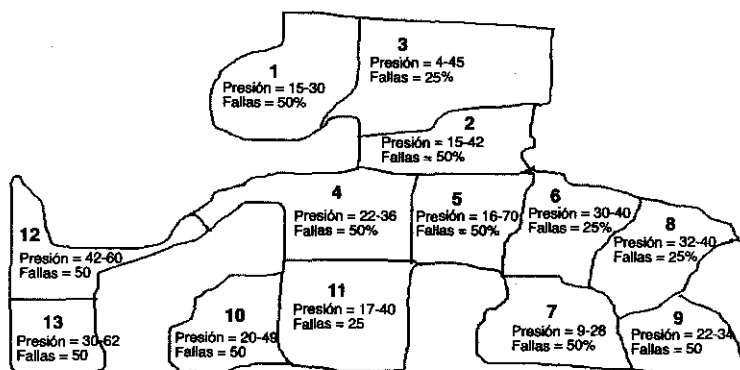
De acuerdo a la operación del sistema, éste se divide en cinco zonas que son: Centro, Norte, Oriente, Poniente y Sur. El organismo tiene registrado a un total de 78,347 tomas y de acuerdo al último censo se tiene una población de 410,000 habitantes. En la figura b.1 se muestra un esquema de la ciudad, así como de los estratos localizados por zonas de operación, los rangos de presiones que se manejan en cada estrato y el porcentaje de tomas con fuga del último año por estrato. Conforme al tamaño de la población se formaron 13 estratos homogéneos (el número de estratos se obtiene del cuadro b.1 del **anexo B**) tomando en cuenta las zonas de presión y el porcentaje de fallas de tomas domiciliarias registradas. El porcentaje de fallas en tomas domiciliarias de cada estrato se obtuvo de los registros de fallas en tomas del último año, la figura b.1 muestra la distribución de los estratos. En el cuadro b.8 se presenta la distribución de los estratos seleccionados, el número de tomas por estrato, el total de tomas, los rangos de presiones y el porcentaje de tomas con fuga.

Tamaño de la muestra para la inspección de fugas en tomas

*a) Cálculo de la muestra con la ecuación b.2*

Para un 95 % de confianza  $Z_c = 1.96$ ,  $d = 5\%$  de error en la estimación,  $N = 78,347$  tomas,  $P_i =$  Porcentaje de tomas con fuga (en caso de no contar con información se puede estimar en 50 % para casos extremos y 25 % para casos conservadores). En el cuadro b.9 se presentan el resultado del cálculo del tamaño de la muestra para cada uno de los estratos. Es importante mencionar que cuando se distribuye la muestra en los estratos seleccionados, si se presentan valores menores de 30, éste deberá ajustarse a dicho valor, esto es para asegurar que la muestra de cada estrato sea representativa, el tamaño de la muestra será:

$$n_o = \frac{(1.96)^2}{78347 * (5)^2} * 170390000 = 334$$



La presión está dada en mca  
Las fallas se refieren a las tomas domiciliarias

Figura b.1. Esquema de la ciudad para realizar el muestreo.

Cuadro b.8. Tomas domiciliarias por estrato seleccionado.

Zona de operación	Número de estrato	Número total tomas	presiones (mca)	Tomas con fuga en (%)
Centro	1	3400	15-30	50
	2	9010	15-42	50
	3	16763	4-45	25
Norte	4	7764	22-36	50
	5	2987	16-70	50
	6	5880	30-40	25
Oriente	7	2434	9-28	50
	8	2374	32-40	25
	9	867	22-34	50
Poniente	10	9679	20-49	50
	11	10880	17-40	25
Sur	12	1442	42-60	50
	13	4867	30-63	25
<b>Total</b>		<b>78347</b>		

La distribución de la muestra en cada estrato se hace de la siguiente manera:

$$n_i = \frac{N_i}{N} n_0$$

Donde:

$n_i$  = Tamaño de muestra para el estrato i

$n_0$  = Tamaño total de la muestra

$N_i$  = Tomas domiciliarias del estrato i

$N$  = Número total de tomas domiciliarias

Cuadro b.9. Tamaño de la muestra por estrato.

Zona de Estrato	Tomas por estrato ( $N_i$ )	Tomas con fuga ( $\%P_i$ )	$N_i P_i (100-P_i)$	Muestra por estrato (n)	Corrección de la muestra
1	3400	50	8500000	15	30
2	9010	50	22525000	38	38
3	16763	25	31430625	72	72
4	7764	50	19410000	33	33
5	2987	50	7467500	13	30
6	5880	25	11025000	25	30
7	2434	50	6085000	10	30
8	2374	25	4451250	10	30
9	867	50	2167500	4	30
10	9679	50	24197500	41	41
11	10880	25	20400000	46	46
12	1442	50	3605000	6	30
13	4867	25	9125625	21	30
<b>N</b>	<b>78347</b>		<b>170390000</b>	<b>334</b>	<b>470</b>

b) Cálculo de la muestra por medio del cuadro b.3.

Como primer paso se debe calcular el porcentaje de tomas de cada estrato ( $P_T$ ): que es la relación de las tomas domiciliarias por estrato entre el número total de tomas domiciliarias en la ciudad y multiplicado por cien:

$$P_T = (N_i / N) 100$$

Una vez seleccionados los estratos homogéneos en un plano de la ciudad, se debe obtener el número de tomas para cada uno de éstos, como se muestra en el cuadro b.10. Con los valores del porcentaje de tomas ( $P_T$ ) y el porcentaje de fugas ( $P_f$ ) por estrato se calcula el tamaño de muestra para la inspección y aforo de fugas en tomas domiciliarias. Se indica el

número de tomas que se deben seleccionar para cada uno de los estratos en que se dividió la ciudad, como se puede observar el número mínimo de tomas a seleccionar por estrato es mayor o igual a 30.

Los valores obtenidos con la cuadro b.3 son para un nivel de confianza del 95 % y un error en la estimación del 5%. Si se desea hacer el cálculo de la muestra para otro nivel de confianza es necesario usar la ecuación del muestreo. Como se puede observar el cálculo de la muestra con la ecuación y una vez realizado el ajuste es de 470 tomas, y el tamaño de muestra usando el procedimiento b) es de 510 tomas. Para este caso se pueden utilizar uno de los dos tamaños de muestra.

Cuadro b.10. Cálculo de la muestra para inspección y aforo de fugas.

No. de estrato	No. de tomas por estrato (N <sub>i</sub> )	Tomas por estrato en (%) (P <sub>T</sub> = N <sub>i</sub> /N)	Fugas por estrato en (%) (P <sub>F</sub> )	Tamaño de la muestra
1	3400	4	50	30
2	9010	12	50	58
3	16763	21	25	72
4	7764	10	50	39
5	2987	4	50	30
6	5880	8	25	30
7	2434	3	50	30
8	2374	3	25	30
9	867	1	50	30
10	9679	12	50	58
11	10880	14	25	43
12	1442	2	50	30
13	4867	6	25	30
<b>Total</b>	<b>78347</b>	<b>100</b>		<b>510</b>

#### *Tamaño de muestra para la estimación del gasto de fuga*

El tamaño de muestra para cuantificar el gasto de fuga, se estima con la ec. b.5, en ésta se incluyen las tomas domiciliarias con fuga localizadas en el inciso anterior. Una vez que se realicen los aforos en las tomas en las que se encontró fuga se registran los gastos de fuga, y el número de tomas con fuga por estrato; en el cuadro b.11 se muestra un resumen de el número de tomas con fuga por estrato y el gasto de fuga promedio, así como su desviación estándar. En los cuadros b.12 a b.15 se presentan los aforos del gasto de fuga (en l/s). Realizada la inspección de las tomas y determinado cuántas de éstas tenían fuga, se procede a estimar el porcentaje de tomas con fuga mediante la siguiente ecuación y con los datos del cuadro b.17 se puede estimar el porcentaje:



$$T_f \frac{Nt_f}{n_o} 100 = \left[ \frac{143}{470} \right] 100 = 30.42\%$$

Donde:  $T_f$  = Porcentaje de tomas con fuga

$Nt_f$  = Número de tomas con fuga en todos los estratos

$n_o$  = Tamaño de la muestra inspeccionada = 470

El ajuste de la muestra para estimar el gasto de fuga se hace para un 95 % de confianza (por lo que  $Z_c$  es igual a 1.96) y un error en la estimación del 5% por lo que el valor de  $d_q$  será:

$$d_q = 5\% (\text{gasto promedio de fuga}) = .05 (.034) = .0017$$

$$\Sigma(S_{qi}^2 N_i) = (.017)^2 * 3400 + (.018)^2 * 9010 + (.019)^2 * 16763 + (.021)^2 * 7764 + (.018)^2 * 2987 + (.030)^2 * 588 + (.022)^2 * 2434 + (.025)^2 * 2374 + (.013)^2 * 867 + (.014)^2 * 9679 + (.019)^2 * 10880 + (.017)^2 * 1442 + (.04)^2 * 4867 = 37.37$$

$$n_\alpha = \left[ \frac{1.96^2}{(.0017)^2 * 78347} \right] * 37.27 = 632$$

Como se puede observar, para estimar el gasto promedio de fuga se requiere aforar un total de 632 fugas en tomas domiciliarias. Para obtener este resultado ya se habían aforado 143 tomas, entonces sólo faltaría aforar  $632 - 143 = 489$ . Estos 489 aforos se pueden realizar a partir de las fugas en tomas de los reportes diarios de fallas que rutinariamente se presentan al organismo operador hasta completar el total de 632.

Cuadro b.11. Resumen de la inspección y aforo de fugas.

Estrato	No. de tomas con fuga	Gasto promedio (l/s)	Desv. Est. (l/s)
1	10	0.023	0.017
2	12	0.030	0.018
3	20	0.034	0.019
4	9	0.041	0.021
5	12	0.029	0.018
6	5	0.049	0.030
7	8	0.054	0.022
8	7	0.041	0.025
9	11	0.022	0.013
10	15	0.023	0.014
11	16	0.029	0.019
12	13	0.024	0.017
13	5	0.042	0.042
promedio	11	0.034	0.021
Total	143		0.275

Cuadro b.12. Aforo de fugas por estrato.

Estrato 1		Estrato 2		Estrato 3	
Tomas con fuga	Gasto de fuga (l/s)	Tomas con fuga	Gasto de fuga (l/s)	Tomas con fuga	Gasto de fuga (l/s)
1	0.018	1	0.004	1	0.070
2	0.049	2	0.034	2	0.030
3	0.026	3	0.047	3	0.040
4	0.042	4	0.038	4	0.031
5	0.001	5	0.020	5	0.009
6	0.035	6	0.011	6	0.029
7	0.025	7	0.032	7	0.026
8	0.004	8	0.043	8	0.040
9	0.027	9	0.016	9	0.002
10	0.003	10	0.014	10	0.024
		11	0.070	11	0.028
		12	0.030	12	0.040
				13	0.001
				14	0.041
				15	0.052
				16	0.027
				17	0.041
				18	0.072
				19	0.026
				20	0.060
Promedio	0.023		0.030		0.034
desv. Est.	0.017		0.018		0.019

Cuadro b.13. Aforo de fugas por estrato.

Estrato 4		Estrato 5		Estrato 6		Estrato 7	
Tomas con fuga	Gasto de fuga (l/s)	Tomas con fuga	Gasto de fuga (l/s)	Tomas con fuga	Gasto de fuga (l/s)	Tomas con fuga	Gasto de fuga (l/s)
1	0.002	1	0.051	1	0.078	1	0.072
2	0.041	2	0.017	2	0.004	2	0.030
3	0.052	3	0.005	3	0.068	3	0.072
4	0.028	4	0.040	4	0.033	4	0.020
5	0.042	5	0.013	5	0.060	5	0.038
6	0.072	6	0.058			6	0.075
7	0.026	7	0.023			7	0.067
8	0.059	8	0.027			8	0.056
9	0.051	9	0.010				
		10	0.024				
		11	0.025				
		12	0.054				
Prom	0.041	Promedio	0.029	Promedio	0.049	Promedio	0.054
desv	0.021	desv. Est.	0.018	desv. Est.	0.030	desv. Est.	0.022

Cuadro b.14. Aforo de fugas por estrato.

Estrato 8		Estrato 9		Estrato 10	
Tomas con fuga	Gasto de fuga (l/s)	Tomas con fuga	Gasto de fuga (l/s)	Tomas con fuga	Gasto de fuga (l/s)
1	0.038	1	0.018	1	0.051
2	0.075	2	0.025	2	0.008
3	0.067	3	0.010	3	0.030
4	0.056	4	0.021	4	0.012
5	0.018	5	0.051	5	0.010
6	0.026	6	0.008	6	0.024
7	0.010	7	0.037	7	0.037
		8	0.012	8	0.031
		9	0.010	9	0.041
		10	0.024	10	0.010
		11	0.037	11	0.028
				12	0.017
				13	0.010
				14	0.033
				15	0.005
Promedio	0.041	Promedio	0.022	Promedio	0.023
desv. Est.	0.025	desv. Est.	0.013	desv. Est.	0.014

Cuadro b.15. Aforo de fugas por estrato.

Estrato 11		Estrato 12		Estrato 13	
Tomas con fuga	Gasto de fuga (l/s)	Tomas con fuga	Gasto de fuga (l/s)	Tomas con fuga	Gasto de fuga (l/s)
1	0.006	1	0.050	1	0.110
2	0.026	2	0.014	2	0.012
3	0.040	3	0.016	3	0.055
4	0.016	4	0.002	4	0.018
5	0.003	5	0.041	5	0.014
6	0.072	6	0.027		
7	0.037	7	0.011		
8	0.051	8	0.011		
9	0.015	9	0.058		
10	0.029	10	0.014		
11	0.041	11	0.034		
12	0.021	12	0.019		
13	0.009	13	0.020		
14	0.038				
15	0.050				
16	0.014				
Promedio	0.029	Promedio	0.024	Promedio	0.042
desv. Est.	0.019	desv. Est.	0.017	desv. Est.	0.042

*Ejemplo dos.* Cálculo del tamaño de la muestra para la verificación de los micromedidores.

Se levantó una encuesta al organismo operador para determinar el número de micromedidores que se tienen en el sistema, cuadro b.16, y se decidió usar los mismos estratos seleccionados para la inspección y aforo de fugas en tomas. El cálculo de la muestra se realiza con base en el cuadro b.3. Al no disponer de información referente al número de micromedidores que presentan fallas, fue necesario suponer estos valores. En los estratos de las zonas mas viejas de la ciudad se consideró el 50%, en el resto se considero un 25 por ciento.

Cuadro b.16. Número de micromedidores por estrato.

Número de estrato	Número de micromedidores	Presión (mca)	Fallas de micromedidores (%)
1	1938	15-30	50
2	5134	15-42	50
3	9555	4-45	25
4	4425	22-36	25
5	1703	16-70	25
6	3352	30-40	25
7	1387	9-28	50
8	1353	32-40	25
9	494	22-34	25
10	5517	20-49	50
11	6202	17-40	25
12	822	42-60	50
13	2774	30-62	25
N	44656		

En el cuadro b.17 se presentan el número de micromedidores por estrato, el porcentaje de micromedidores por estrato, el porcentaje de falla de los medidores y el tamaño de muestra para verificación de cada estrato y el total que son 501. La corrección del volumen medido se debe a que los micromedidores con el tiempo llegan a tener problemas en su mecanismo, esto provoca errores en la medición. Para esto es necesario determinar los porcentajes de sub y sobremedición que presentan y así determinar los errores de la medición, cuadro b.18. Los resultados de la verificación muestran que el 15.20% (72 medidores) miden de más en un 15.84 % del consumo que registran y el 13.36 % (69 medidores) miden de menos en un 21.37 % el consumo que registran. Con estos valores es preciso

hacer una corrección de los volúmenes de agua medidos. El consumo corregido se obtiene con las ecuaciones.

Cuadro b.17. Muestra para verificación de micromedidores.

Número de estrato	Número de micromedidores (N)	Micromedidores por estrato $N_i / N$ (%)	Micromedidores con falla (%)	Muestra por estrato
1	1938	4%	50	30
2	5134	11%	50	58
3	9555	21%	25	72
4	4425	10%	25	30
5	1703	4%	25	30
6	3352	8%	25	30
7	1387	3%	50	30
8	1353	3%	25	30
9	494	1%	25	30
10	5517	12%	50	58
11	6202	14%	25	43
12	822	2%	50	30
13	2774	6%	25	30
Suma	44656			501

Cuadro b.18. Exactitud de medición de los micromedidores.

Estratos	micromedidores verificados	micromedidores con sobremedición		micromedidores con submedición		Consumo (%)	
		No.	(%)	No.	(%)	sobremedido	submedido
1	30	7	23.33	5	16.67	9.9	3.6
2	58	12	20.69	12	20.69	11.5	11.7
3	72	6	8.33	12	16.67	11.9	31.9
4	30	10	33.33	7	23.33	35	42.9
5	30	3	10.00	1	3.33	11.7	1.7
6	30	2	6.67	4	13.33	7.1	6.4
7	30	2	6.67	0	0.00	18.3	0
8	30	0	0.00	0	0.00	0	0
9	30	12	40.00	4	13.33	10.4	33.8
10	58	4	6.90	6	10.34	10.8	47.2
11	43	5	11.63	4	9.30	19.6	35.8
12	30	6	20.00	0	0.00	13.3	0
13	30	3	10.00	14	46.67	46.4	62.8
Total	501	72	198	69	173.67	205.9	277.8
Promedio		4.69	15.20	4.54	13.36	15.84	21.37

## Capítulo 2 Evaluación económica de proyectos de reducción de pérdidas

Víctor J. Bourguett O.  
J. Manuel Rodríguez V.

### 2.1. Antecedentes

El aspecto de pérdidas del agua no contabilizada en los sistemas de distribución de agua es un añejo y extendido problema, en los sistemas alrededor del mundo, aún en países del primer mundo, como Escocia, se tienen niveles de 40 a 50 %, el cuadro 2.1 muestra los valores porcentuales y en m<sup>3</sup>/día/km, asimismo el cuadro 2.2 muestra la distribución del agua no contabilizada (ANC) en pérdida física y comercial.

Cuadro 2.1 Agua No Contabilizada, Indicadores porcentual y m<sup>3</sup>/día/km de tubería

Cuadro 2.2 Composición del Agua No Contabilizada

Ciudad/País % m <sup>3</sup> /día / km	Ciudad/País Física comercial
Chetumal 62 nd	Singapur 4 7
Sao Paulo 40 70	Barcelona 11 12
Bogotá 40 135	Bogotá 14 26
Bangkok 33 73	Salamanca 58.88 7.9
Murcia 25 22	León 44.72 10
Nva. Guinea 53 nd	San José 21 25
Japón 11 13	
USA 12 17	

Durante muchos años el subsector agua potable en nuestro país ha tenido severos problemas técnicos y financieros para cumplir con su misión,

suministrar agua a la población en cantidad y calidad adecuada, con una presión mayor o igual a la de diseño ( $1.5 \text{ kg/cm}^2$ ) en el tiempo y espacio. En este sentido, el órgano rector en el país, la Comisión Nacional del Agua, (CNA) ha generado una serie de programas de apoyo tanto en infraestructura de agua potable, alcantarillado y saneamiento, como para consolidación de la estructura organizacional, por su parte, algunos organismos operadores han desarrollado proyectos internos en la búsqueda de mejora de su eficiencia, los resultados han sido normalmente de éxito acotado en mayor o menor nivel, se sabe que estos programas deben tener una existencia de al menos cuatro años para dar resultados importantes. Por lo tanto al no haber continuidad en los programas, la eficiencia operativa ha sido durante muchos años, por lo menos mala, por ejemplo, en el renglón de pérdidas, ha sido hasta principios de los años noventa, que se ha iniciado la evaluación de las pérdidas en forma sistemática. Gracias a los estudios desarrollados por la CNA, el IMTA y algunas empresas que aplicaron la metodología del IMTA es que actualmente se tiene un conocimiento "confiable" del porcentaje global de agua no contabilizada en los sistemas del país, siendo éste del orden de 39 % del agua producida. A partir de estos estudios, se supuso que los organismos actuarían en la eliminación, reducción y control de pérdidas en forma sistemática, sin embargo, en la práctica no se dieron acciones de reducción.

Una vez efectuada la etapa de diagnóstico, que consiste fundamentalmente en una auditoría del agua (Balance de agua) y del estudio de evaluación de pérdidas, (para identificar la distribución del volumen de pérdidas), es posible efectuar acciones ejecutivas de recuperación de agua bajo un cierto esquema que se trata a continuación.

## 2.2. Proyecto de reducción

El objeto de este curso es tratar el problema de pérdidas de agua como un proyecto de ingeniería integral, por lo tanto debe ser analizado desde una perspectiva de inversión, con su análisis de costo-beneficio. Una vez establecida la dimensión del problema global, de sus causas, ubicación, etc., debe efectuarse un análisis desde el punto de vista económico y tratar de establecer posibles metas de trabajo, inversión requerida, capacidades, etc. En esta parte del curso se analiza el problema de recuperación del agua, considerando los costos del proyecto así como los beneficios económicos y de otros tipos que se obtienen al aplicar éste.

### 2.2.1 Esquema de aplicación

El proyecto de reducción de ANC puede aplicarse mediante múltiples esquemas o modalidades, cada esquema tiene sus ventajas y desventajas en

función de las capacidades del organismo; como son; tamaño, capacidad institucional, resultados de la evaluación y capacidad financiera, en consecuencia, la selección del esquema debe efectuarse mediante un análisis de ciertos indicadores, que se pueden agrupar en técnicos e Institucionales, que permitirán elegir la mejor opción de aplicación. Sobre cuales indicadores participan en la selección, pueden ser considerados elementos tales como:

Por la parte Institucional

- A) Desarrollo Institucional del Organismo, medir el nivel de madurez técnico - administrativo del organismo, manuales de procedimientos, proyecto de calidad, etcétera.
- B) Eficiencia actual, establecer el nivel de eficiencia de facturación, pérdidas físicas o contables, eficiencia de bombeo, etcétera.
- C) Planeación estratégica del organismo, nivel de trabajo en la reestructuración del organismo.
- D) Estructura organizacional, identificación clara de funciones y procedimientos, disposición de un área de agua potable y de un departamento de identificación y control de fugas.
- E) Estado financiero, análisis de capacidades financieras del organismo.
- F) Apoyos financieros, identificación de posibles apoyos financieros de instituciones gubernamentales y privadas.

En el aspecto técnico

- A) Catastro de la red, análisis del estado actual del catastro técnico de la red, en particular de redes primarias, secundarias y cajas de válvulas.
- B) Padrón de usuarios, análisis del estado actual del padrón de usuarios.
- C) Sectorización de la red, análisis del aspecto de subdivisión actual de las redes.
- D) Tamaño de la red, dimensionamiento de los posibles sectores en que puede ser subdividida la red y forma de operación de la misma.
- E) Diagnóstico del sistema, análisis global del estado técnico del sistema.
- F) Auditoría del agua, identificación del agua suministrada, identificada y pérdidas potenciales.
- G) Estudio de evaluación de pérdidas, evaluación de resultados y disgregación de resultados por sector.
- H) Capacidad de los recursos humanos del sistema, evaluación de disposición de recursos humanos para integrarlos al proyecto.

Entre los posibles esquemas de aplicación, se han manejado dos como factibles, uno de ellos es un proyecto global, en donde quede de manifiesto toda la estructura del proyecto y su programación en el tiempo,



evaluando costos y beneficios, así como un esquema financiero, similar a los planes maestros, pero enfocados al aspecto de pérdidas y su reducción. El otro posible esquema es por zonas, aprovechando ciertas condiciones de la estructura de las redes y de su forma de operación, facturación, etc., que en forma genérica se denomina la "sectorización". Conforme a las conclusiones obtenidas de recientes reuniones de organismos operadores afiliados a la EAS (Empresas de Agua y Saneamiento), los resultados que se obtienen de grandes proyectos, con metas a mediano y largo plazos, tal y como los Planes Maestros, requieren de inversiones fuertes, que además están ligados a mezcla de recursos, (incluyendo la generación interna de caja), son bastante pobres. En general, pueden estar bien estructurados, pero al proponer acciones necesarias para incrementar la eficiencia, ligadas a esquemas financieros teóricos con recursos que nunca llegan, los planes derivados de los planes maestros sólo son buenas intenciones y no pasan de ser un proyecto más archivado, desperdiciando los recursos en él invertidos.

El proyecto de reducción de ANC contempla el análisis del problema y la propuesta de acciones ejecutivas de recuperación de la ciudad en su conjunto, el monto de la inversión para solucionar el problema en una ciudad de tamaño medio en un año, en la mayoría de los casos excede la capacidad financiera de los organismos de agua potable y probablemente también la de los probables apoyos provenientes de entidades federales. En consecuencia, los esquemas más factibles consisten en programación a mediano plazo, esto es, la ejecución en periodos del orden de tres a cinco años. La estrategia de aplicación del proyecto, sugerida, consiste en una división y programación por etapas, preferentemente realizando acciones ejecutivas de reducción, dividiendo a la ciudad en sectores, de esta forma se verían en el corto plazo los beneficios; tanto en incremento de eficiencia como en la generación de ingresos. Además, al establecer estos sectores en el escritorio, se dan los primeros pasos, para la eventual sectorización operativa del sistema, permitiendo mejorar substancialmente el control sobre el ANC y que no se pierdan en otro sector aún sin trabajar. Habida cuenta de lo anterior, se presenta un análisis del esquema elegido en una ciudad., en ella se establece una sectorización de la red de distribución, dividiendo en cinco macrosectores, que tienen cierto grado de independencia de operación. La información del sistema debe procesarse por sectores y una vez que se dispone de ella es posible establecer una jerarquización de los sectores, para ejecutar el proyecto, en su primer etapa, en el sector que ofrezca una relación beneficios /costo más atractiva.

### *2.2.2. Selección de sector de trabajo*

Con base en el diagnóstico global se realiza un análisis de indicadores de cada uno de los sectores. Para jerarquizar los sectores y efectuar la selec-

ción del sector de trabajo debe realizarse el análisis de algunos indicadores técnico - administrativos, se proponen los siguientes:

- Relación de agua producida y facturada
- Número de tomas y consumos
- Estadísticas de fugas
- Cuantificación de pérdidas por fugas
- Costos de producción (al menos el correspondiente a la potabilización)

A continuación se presenta un desglose de estos indicadores, a partir del cual se realiza la selección del sector de trabajo y el análisis de los posibles beneficios del proyecto de reducción de ANC. El análisis se presenta a partir de los datos de un mes típico, pero en caso de disponer de datos confiables de un periodo mayor, es más adecuado el análisis con datos de un año completo.

### 2.2.3 Agua producida y facturada

Uno de los índices más importantes y útiles es la relación volumen de agua facturada entre el volumen de agua producida por sector, con la información obtenida para el mes de enero, se elaboró el cuadro 2.3, en él, se identifica la eficiencia de facturación por sector.

Cuadro 2.3 Eficiencia de facturación.

Sector	Volumen suministrado m <sup>3</sup> / mes	Volumen facturado m <sup>3</sup> / mes	Eficiencia de Facturación %
Centro	1,372,400	858,278	62.54
Oriente	663,000	264,157	39.84
Norte	481,700	190,886	39.63
Poniente	541,400	406,069	75.00
Sur	351,400	157,372	44.78
<b>Total</b>	<b>3,409,900</b>	<b>1,876,762</b>	<b>55.04</b>

Son tres los sectores cuya eficiencia es bastante baja, menor al 50% siendo éstos; Oriente, Norte y Sur, la eficiencia global es de 55.04%, valor susceptible de ser mejorado. Las zonas centro y poniente son sin duda sectores con mayor eficiencia.

### 2.2.4 Número de tomas y consumos

Otro indicador sustantivo para el proyecto es el tamaño del sector, ya que los costos del proyecto en el sector serán función proporcional al número de tomas a inspeccionar. En este caso también será importante estimar

el volumen consumido, tanto teóricamente, como el que se desprende de los usuarios con micromedición. En el cuadro 2.4 se indica el número total de tomas por sector, el volumen enviado y el consumo teórico correspondiente, para el periodo mencionado líneas arriba.

Cuadro 2.4 Consumo per cápita teórico.

Sector	Número total de tomas	Volumen enviado M <sup>3</sup>	Consumo respecto al enviado		
			m <sup>3</sup> /toma/mes	m <sup>3</sup> /toma/día	m <sup>3</sup> /toma/día*
Centro	32,900	1,372,400	41.71	1.35	0.245
Oriente	14,721	663,000	45.04	1.45	0.264
Norte	10,323	481,700	46.66	1.51	0.274
Poniente	17,135	541,400	31.60	1.02	0.185
Sur	7,514	351,400	46.77	1.51	0.274
Total	82,593				
Promedio			42.36	1.37	0.25

\*Se ha estimado una densidad de 5.5 hab. por usuario o toma.

En el cuadro 2.5 se indica el número total de tomas por sector, el volumen facturado y el consumo "real" correspondiente, por su parte el cuadro 2.6, presenta los porcentajes de cobertura de medición, considerando solamente los medidores que funcionan, indicador de la fiabilidad de los consumos facturados y de la posibilidad de reducir el ANC, en él se observa que el índice en general es bajo, pero el sector Sur es el de mejor nivel de medición domiciliaria, ver figura 2.1.

Cuadro 2.5 Consumo per cápita real.

Sector	Total de tomas	Volumen facturado m <sup>3</sup>	Consumo respecto al enviado		
			m <sup>3</sup> /toma/mes	m <sup>3</sup> /toma/día	m <sup>3</sup> /toma/día
Centro	32,900	858,278	26.09	0.842	0.153
Oriente	14,721	264,157	17.94	0.579	0.105
Norte	10,323	190,886	18.49	0.596	0.108
Poniente	17,135	406,069	23.70	0.764	0.139
Sur	7,514	157,372	20.94	0.676	0.123
Total	82,593	375,352	21.43	0.691	0.126

Cuadro 2.6 Porcentaje de micromedición por sector.

Sector	Centro	Norte	Poniente	Sur	Oriente	Total
Medidores funcionando	11670	4182	6631	4278	4278	31039
Tomas	32900	10323	17135	7514	14721	82583
% de micromedición	35.47	40.51	38.70	56.93	29.06	37.58

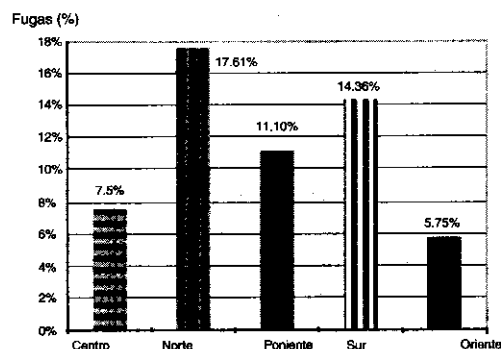


Figura 2.1 Porcentaje de medidores domiciliarios funcionando.

### 2.2.5. Estadísticas de fugas

Otro elemento de decisión sustantivo, consiste en el análisis detallado de las estadísticas de fugas y fallas de tuberías, y tomas domiciliarias. Estos bancos de datos, normalmente existentes en el sistema, raramente son procesados con el objetivo de establecer causas sistemáticas de fallas, correlaciones, temporales o espaciales, siendo que constituyen elementos primordiales para la administración del sistema. De hecho existen referencias acerca del número de fallas aceptables en tubería para decidir su reemplazo, más de dos fallas al año por km de tubería es un valor preocupante, igualmente para tomas domiciliarias, más de 50 fugas/por cada mil tomas/año representan una valor que evidencia la necesidad de sustituir el grupo de tomas domiciliarias. Por ejemplo, a continuación se muestran los resultados del análisis de estadísticas de fugas en el periodo 1 de enero al 31 de diciembre. Se observa que los sectores con mayores problemas son los sectores Norte y Sur, ver fig. 2.2 y cuadro 2.5, en el sector Sur se puede establecer que gran parte de las fallas son ocasionadas por las variaciones de presión a lo largo del día, el suministro es con base al bombeo directo, seguramente una válvula reguladora de presión, un tanque de regulación, un variador de velocidad en los equipos de bombeo o una modificación de la política de operación, permitiría reducir el número de fugas en el sector. En el caso del sector Norte, el problema adicional al anterior, puede consistir en la mala calidad de los materiales de las tomas domiciliarias, suministradas por el usuario, un alto porcentaje de la población del sector es popular.

Cuadro 2.7 Estadísticas de fugas totales por sector.

Sector	Centro	Norte	Poniente	Sur	Oriente	Total
Total de fugas ocurridas	2498	1818	1917	1078	847	8158
# de tomas	32900	10323	17135	7514	14721	82593
Tomas con fuga	7.59 %	17.61 %	11.19 %	14.35 %	5.75 %	9.88 %

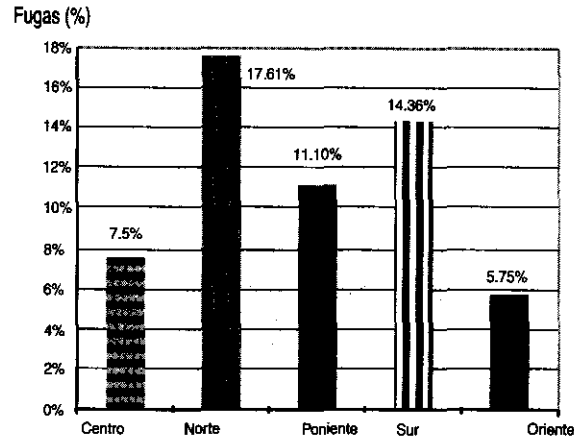


figura 2.2 Total de fugas reportadas en el año.

Del total de fugas, un porcentaje importante ocurre en tomas domiciliarias, en el cuadro 2.8 se presenta la distribución de éstas por sector, se observa que los sectores con mayores problemas son los sectores Norte y Sur, es importante notar que a priori se pensaría que la zona centro al tener mayor antigüedad, sería la más problemática en porcentaje de fugas, esto no siempre es cierto, al menos no en este caso.

Cuadro 2.8 Estadísticas de fugas en tomas domiciliarias.

Sector	Centro	Norte	Poniente	Sur	Oriente	Total
Fugas ocurridas en tomas	1757	1172	1362	666	414	5371
# de tomas	32900	10323	17135	7514	14721	82583
% de fugas/toma	5.34 %	11.35 %	7.95 %	8.88 %	2.81 %	6.50 %

Por su parte, el porcentaje de fugas que ocurre en la tubería de la red de distribución, la ocurrencia de éstas por sector se presenta en el cuadro 2.9, se observa que los sectores con mayores problemas son los sectores Norte y Sur, en ambos casos se sobrepasa el número de dos, es decir se tiene una distancia entre fallas de 303 y 370 m, lo que las ubica en el nivel de mal estado.

Cuadro 2.9 Estadísticas de fugas en red de distribución.

Sector	Centro	Norte	Poniente	Sur	Oriente	Total
Fugas en tuberías en el año	418	409	310	248	264	1649
% de fugas en red	1.27 %	3.96 %	1.81 %	3.30%	1.79 %	2.00%
Longitud de tubería (km)	397	125	207	91	178	997.22
Gasto de fuga m <sup>3</sup> /km/año	41.77	75.05	21.09	66.78	72.28	49.59
# de fugas/km/año	1.1	3.3	1.5	2.7	1.5	2.02

## 2.3 Cuantificación de pérdidas por fugas

Ahora es preciso establecer el volumen identificado de pérdidas por fuga por sector, durante el periodo de análisis. Con base en un estudio de evaluación de pérdidas, se obtuvo el volumen de pérdida por fugas en tomas domiciliarias por sector, (ml/s), con base al cual es posible calcular el volumen de agua que se pierde en cada uno de éstos, ver cuadro 2.10, que debe ser correlacionado con el porcentaje de tomas con fuga, un análisis más completo puede efectuarse considerando el volumen de pérdida en tramos de tubería y por válvulas. Se observa que el sector Sur es el que presenta mayor volumen de pérdida por fugas en el sistema, en porcentaje respecto al producido (27.84%). En números absolutos el sector Poniente es el de mayor pérdida (1350,340 m<sup>3</sup>/mes).

Cuadro 2.10 Porcentaje de pérdida respecto a producción.

Sector	# de tomas	# de tomas c/fuga	Volumen de fuga ml/s/t	Volumen de fuga m <sup>3</sup> /mes	% pérdida física en tomas/ producción
Centro	32,900	1747	17.8	83,289	6.07%
Oriente	14,721	414	32.8	36,371	5.49%
Norte	10,323	1172	16.31	51,198	10.63%
Poniente	17,135	1362	37.1	135,340	25.00%
Sur	7,514	666	54.85	97,842	27.84%
<b>Total</b>	<b>82593</b>	<b>6361</b>	<b>31.772</b>	<b>404,040</b>	<b>11.86%</b>

En el cuadro 2.11 se observa que son los sectores Poniente y Sur, donde existen mayores volúmenes de pérdida física que se debe reducir.

Cuadro 2.11 Eficiencia después de eliminar pérdidas físicas en tomas.

Sector	% de eficiencia actual	Envío m <sup>3</sup> /mes	Factura m <sup>3</sup> /mes	Pérdida m <sup>3</sup> /mes	Fac + fugas m <sup>3</sup> /mes	Eficiencia al eliminar fuga física de tomas
Centro	62.54	1,372,400	858,278	83,289	941,567	68.61%
Oriente	39.84	663,000	284,157	36,371	300,528	45.33%
Norte	39.63	481,700	190,886	51,198	242,084	50.26%
Poniente	75	541,400	406,069	135,340	541,409	100.00%
Sur	44.78	351,400	157,372	97,842	255,214	72.63%
<b>Total/promedios</b>	<b>52.36</b>	<b>3,406,900</b>	<b>1,876,762</b>	<b>404,040</b>	<b>2,280,802</b>	<b>66.89%</b>

Con base en los indicadores presentados, podemos observar que consistentemente los sectores Norte y Sur presentan condiciones adecuadas para ser el sector piloto en la ciudad, resumiendo: la eficiencia en ambos sectores es baja (menor de 50 %), el nivel de micromedición es mejor en el Sur, sus resultados son un poco más confiables, en cuanto a tamaño es menor el Sur, lo que facilita el proceso de implantación, los volúmenes de recuperación son importantes, en ambos casos, en cuanto a ocurrencia de fugas, ambos sectores tienen un alto porcentaje de fallas,

y el nivel de eficiencia a alcanzar es bueno en el Sur y aún deficiente en el Norte

En consecuencia, se recomienda elegir el sector Sur para efectuar implantar el programa como sector piloto y realizar en el sector Norte una revisión del padrón de usuarios como medida previa a la aplicación del programa completo.

## 2.4 Evaluación económica

Por supuesto, el producir y distribuir el agua tiene un costo, en consecuencia el agua no contabilizada representa una inversión que desperdicia, es preciso poder determinar esta cantidad para involucrarla en el análisis, ya que se puede convertir en un ahorro de costos del sistema en términos de energía de bombeo, material de cloración, etc. Además de este costo, el agua que se fuga antes de entregar al usuario tiene un componente muy interesante, es agua que dejamos de vender, y generalmente representa un ingreso importante. Para evaluar los costos y beneficios del proyecto es preciso establecer cuanto dinero cuesta a la empresa producir un  $m^3$  de agua, normalmente es un dato del que no se dispone, por lo cual puede ser suficiente, aunque no lo ideal, el asignar el costo de potabilizar el agua y de suministro (costo de energía de bombeo), índice normalmente más fácil de estimar.

### 2.4.1 Costos de producción bombeo y potabilización

En el aspecto de costos, el cuadro 2.12 presenta el costo de producción del agua enviada a cada sector, se ha considerando un costo de potabilización y envío del  $m^3$  de agua de \$0.55 / $m^3$ . Se considera solamente el costo de energía, del cloro utilizado y del mantenimiento de la planta potabilizadora, este es un valor muy bajo, por ejemplo el costo promedio en España de  $m^3$ , es del orden de \$6.32 / $m^3$ .

Cuadro 2.12. Costo de bombeo y potabilización.

Sector	Volumen producido $m^3$ /año	Costo anual \$
Centro	16,468,800	9,057,840
Oriente	7,956,000	4,375,800
Juárez	5,780,400	3,179,220
Poniente	6,496,800	3,573,240
Granjas	4,216,800	2,319,240
<b>Suma</b>	<b>40,918,800</b>	<b>22,505,340</b>

### 2.4.2 Precio de venta de agua

En el aspecto de venta del insumo, el precio promedio de venta del m<sup>3</sup> de agua, estimado es de \$2.49/m<sup>3</sup>, es factible establecer tarifas diferenciadas y realizar un análisis más completo pero se requiere de mayor información y sobre todo que sea confiable.

### 2.4.3 Análisis de beneficios

En realidad el análisis de beneficios del proyecto debe contemplarse en dos contextos; los beneficios económicos de la reducción, ahorro en energía y consumibles y probable venta del producto y por otra parte, los beneficios ambientales, que eventualmente pueden ser de gran interés, no solo para el sistema, sino para la población en general y sumamente atractivos para las entidades que financian proyectos. De hecho este tipo de proyecto se enmarca en el ámbito de la conservación del recurso y el desarrollo sustentable.

- Conservación del recurso, con la reducción en el gasto producido, se prolonga la disponibilidad del recurso en el tiempo, contribuyendo al desarrollo sustentable y al uso eficiente del agua, todas políticas prioritarias en México y el mundo.
- Mejor atención a las demandas, con el volumen recuperado se puede abastecer a más habitantes o bien se está en posibilidad de mejorar la dotación a la población actual.
- Mejora de la eficiencia, es posible alcanzar en el mediano plazo eficiencias del 75 %.
- Mejor imagen institucional, contar con un mejor servicio al usuario fortalece la imagen del organismo, además de que con el programa mejoran las finanzas del mismo y pueden abordarse programas de rehabilitación en corto plazo con los recursos excedentes.
- Mayor participación ciudadana, con una divulgación adecuada del proyecto y de sus beneficios, los usuarios tendrán una mayor participación en los aspectos de reporte de fugas, fallas de presión, etcétera.
- Se pueden diferir inversiones en obras de cabecera, al tener una capacidad instalada superior a la demanda.
- El personal de brigadas de campo puede dedicarse a obras de mantenimiento preventivo o puede ser reubicado.
- Mayor confiabilidad en la macromedición y en la micromedición.



Los beneficios económicos que se obtienen al reducir las pérdidas de agua no contabilizada, se pueden atribuir a:

- El ahorro en costo de producción, en un escenario conservador el agua no desperdiciada se puede dejar de producir, por lo tanto disminuyen los costos de producción, este es el beneficio mínimo que se puede esperarse del proyecto.
- Incremento en el volumen de venta del producto (deduciendo el costo de producir ésta), sin duda este puede ser el mayor beneficio del proyecto, poder vender y medir el agua recuperada.
- Ahorro en costos de reparación de fugas en tomas, al contar con una red sectorizada, controlada y operada, es factible el reducir el número de fugas existentes, y por lo tanto de ahorrar recursos en su detección y reparación.
- Ahorro en costos de reparación de fugas en tuberías de distribución, al contar con una red sectorizada, controlada y operada, es factible el reducir el número de fugas existentes, y por lo tanto de ahorrar recursos en su detección y reparación.

El beneficio en gasto y volumen anual recuperado por sector es (cuadro 2.13):

**Cuadro 2.13. Volumen anual de agua que se puede reducir del ANC.  
Los beneficios en términos de monetarios, por sector son:**

Sector	Centro	Norte	Poniente	Sur	Oriente	Total
Gasto (l/s)	11.33	24.65	5.61	21.54	17.78	80.91
Volumen anual (m <sup>3</sup> )	357,303	777,362	176,917	679,285	560,710	2,551,578
Eficiencia final	64.71%	53.08%	77.72%	60.89%	46.89%	

**Cuadro 2.14. Beneficios económicos.**

Sector	Centro	Norte	Poniente	Sur	Oriente	Total
						\$/año
Ahorro Rep. fuga en toma	278,379	185,692	215,795	105,521	65,594	850,981
Ahorro Rep. fuga en red 3"	766,612	750,106	568,540	454,832	484,176	3,024,266
Ahorro de costo de producción	196,517	427,549	97,304	373,607	308,391	1,403,368
Ingreso por venta de agua	889,684	1,935,632	440,523	1,691,421	1,396,168	6,353,429
<b>Total</b>	<b>2,131,192</b>	<b>3,298,979</b>	<b>1,322,163</b>	<b>2,625,381</b>	<b>2,254,329</b>	<b>11,632,044</b>

Se considera un precio de venta medio de \$2.49/m<sup>3</sup>, costos de producción de \$0.55/m<sup>3</sup>, de reparación de fuga en toma de \$316.88/toma con fuga y de \$1,834.00 por fuga en red de 3".

## 2.5 Costos del proyecto

En los cuadros 14 a 18 se presenta un desglose de los costos estimados del proyecto en cada sector, se incluye el costo de participación del asesor y el de los trabajos de campo a ejecutar. Un resumen de los costos del proyecto por sector y de su porcentaje respecto al total se presenta en el cuadro 2.15.

Cuadro 2.15. Costos del proyecto por sector.

Sector	Costo del proyecto (\$)	Porcentaje respecto al total
Sur	1'610,072	16.49%
Centro	3'482,871	35.67%
Oriente	1'500,472	15.37%
Norte	1'404,426	14.38%
Poniente	1'767,116	18.10%
<b>Total</b>	<b>9'764,957</b>	<b>100.00%</b>

## 2.6 Análisis de relación beneficio – costo

En el cuadro 2.16 se presenta un resumen de indicadores por gestión de cada sector, con base en ellos es posible establecer una función discrepancia para evaluar el sector más conveniente de trabajo.

Cuadro 2.16. Resumen de características técnicas de sectores.

Sector	B/C	Micromedición	Eficiencia de facturación	% fugas en tomas
Sur	1.63	59.63	44.78	8.86
Centro	0.61	35.47	62.54	5.34
Oriente	1.50	29.06	39.84	2.81
Norte	2.35	40.51	39.63	11.35
Poniente	0.75	38.7	75	7.95

La función a evaluar tiene la forma siguiente:

$$FP_{\text{sector}} = \left[ \frac{BC_s + Ms + EFs + FTs}{\sum BC + \sum M + \sum EF + \sum FT} N_p \right]$$

donde:

FPs es el factor de ponderación del sector en análisis.

BCs es la relación beneficio contra costo del sector en análisis.

SBC es la sumatoria de la relación beneficio contra costo de los sectores.

Ms es el porcentaje de micromedición del sector en análisis.

SM es la sumatoria de los porcentajes de micromedición de los sectores

EFs es la eficiencia de facturación del sector en análisis.

SEF es la sumatoria de la eficiencia de facturación de los sectores.

FTs es el porcentaje de tomas con fuga del sector de análisis.

SFT es la sumatoria de los porcentajes de tomas con fuga de los sectores.

Np es el número de parámetros analizados, en este caso cuatro.

Con información del cuadro 2.16 se calcularon los factores de ponderación de cada sector, ver cuadro 2.17. Se observa que el sector en donde conviene trabajar en primera instancia es el sector Norte, cuyo factor es 0.56 y posteriormente el sector Sur con un FP de 0.48.

Cuadro 2.17. Factor de ponderación de sectores.

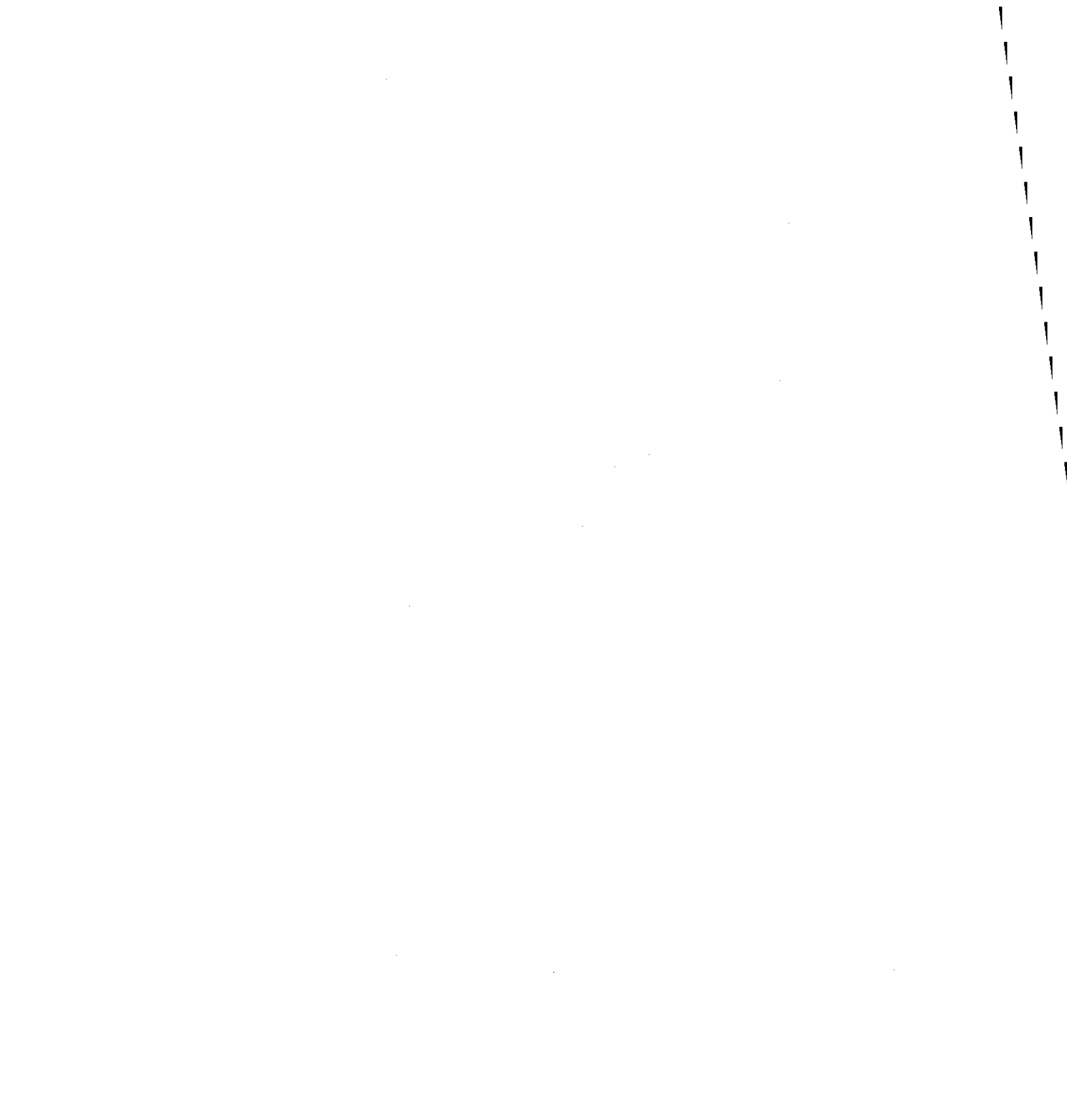
Sector	FP
Sur	0.48
Centro	0.31
Oriente	0.23
Norte	0.56
Poniente	0.42

## Referencias

1. Bourguett V. et. al., *Transferencia de Metodología del Programa de Control de Fugas*, anexo 1, Inf. final, Proyecto HC9608, IMTA, dic., 1996.
2. Mays L., *Water Distribution Systems*, ASCE, N. Y., 1989, USA.
3. Cabrera E. y Vela A., *Mejora del rendimiento y de la fiabilidad en sistemas de distribución de agua*, UPV y Aguas de Valencia, Nov. 1994, Valencia, España.

## **Parte II**

### **Sectorización para facilitar la reducción de pérdidas de agua**



## Capítulo 3 Diseño de redes con distritos hidrométricos integrados

Víctor J. Bourguett Ortíz  
José M. Rodríguez Varela  
Leonel H. Ochoa Alejo

Las tendencias actuales en el diseño de redes de distribución están dirigidas hacia la optimización de los recursos, reduciendo los costes a un mínimo pero bajo la restricción de asegurar la confiabilidad del suministro. Para lograr esto, a nivel mundial, se están modificando los criterios de diseño, pasando desde el diseño a costo mínimo a los diseños de optimización de costos cumpliendo un nivel de confiabilidad. En nuestro país la situación es un poco diferente ya que se sigue utilizando el tradicional diseño empírico, basado en la experiencia del diseñador, que de alguna manera ha funcionado, ya que se incluye cierto nivel de redundancia en la red al ser mallada, de tal forma que es factible que pasemos de este tipo de diseño al de confiabilidad directamente. Con estos criterios de análisis y diseño de redes los costos de construcción inicial se incrementan, pero, a la larga los costos de operación y mantenimiento y sobre todo los debidos a fallos de la red 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, mejorando apreciablemente el servicio a los usuarios, la eficiencia operativa y los indicadores de funcionamiento hidráulico.

La práctica de operación de redes en servicio en nuestro país presenta severos problemas estructurales, muchos sistemas operan en forma heurística la red, confiando en las experiencias del personal, no disponiendo de herramientas de análisis del funcionamiento hidráulico de la red y mucho menos de esquemas de mejoramiento. De esta forma los cambios o adecuaciones, ampliaciones son el resultado de estimación de necesidades con base a la experiencia. Entre tanto, se imponen otro tipo de criterios y se dispone de herramientas prácticas de diseño considerando confiabilidad, existen caminos alternos para optimar el diseño y funcionamiento hidráulico de las redes, permitiendo a los operadores un manejo más eficiente de la red de distribución. Uno de estos caminos consiste en sectorizar la red.

Se entiende por sectorización de una red a la acción de formar zonas de suministro independientes unas de otras, dentro de una red de distribución. Cada sector podrá operarse independientemente de los otros. Pero,

por qué sectorizar la red, qué ventajas y desventajas ofrece, cómo se enmarca dentro de un programa de control de fugas, a lo largo de este capítulo trataremos de responder a estas preguntas, asimismo se presentaran diferentes consideraciones que conviene atender cuando se pretende efectuar la sectorización de una red existente que durante años ha sido operada en forma "libre" y sólo en base a la experiencia.

La sectorización de la red, con base en distritos hidrométricos, es una acción especialmente benéfica para operar el sistema ya que permite un control eficiente del funcionamiento del sistema de distribución, y eventualmente facilita ejecución de proyectos específicos como puede ser la recuperación de pérdidas de agua dentro de los sectores y la evaluación de consumos para compararlos contra la facturación.

Para efectuar la sectorización se requiere que obtengas información acerca de la red (catastro técnico) y de la forma de operación real. Con esta información formarás un modelo numérico de la red, la cual se calibrará. Posteriormente puedes proceder a la sectorización de la red mediante la técnica de distritos hidrométricos, sabiendo que obtendrás una forma de operación confiable y de fácil control.

### ACTIVIDAD 1. RECOPILANDO DATOS

Para plantear un proyecto de sectorización de una red de distribución debes primero formarte un modelo conceptual de la red y evaluar su funcionamiento hidráulico actual, en pocas palabras, debes conocer la forma de operación del sistema en términos cualitativos y cuantitativos. El modelo conceptual puedes integrarlo a partir del catastro de la red, es decir el aspecto físico, cómo está formado actualmente el sistema de distribución; deberás recopilar los datos de líneas principales, cotas topográficas, diámetros, ubicación de válvulas, etc., con esta información podrás formar un esquema o modelo conceptual del sistema de distribución.

El segundo aspecto importante tiene que ver con el aspecto operativo; cómo opera el sistema, cuáles son sus parámetros principales, en otras palabras; cómo está trabajando el sistema cuantitativamente. Para esto, debes obtener información de gastos en los diferentes tramos de la red principal, las presiones en ciertas zonas del sistema, las rugosidades de los tramos de tubería, la forma de operar las válvulas, etc. Una vez que logres conocer el estado actual de operación de tu sistema, es una tarea relativamente sencilla el introducir distritos hidrométricos para sectorizar la red. La recopilación de datos es una tarea fundamental del proyecto de sectorización, por tanto deberá asignarse un cuidado especial para obtener *información confiable*.

### *Tarea 3.1.1 Datos generales*

Reúne los planos *actualizados* de la red principal con la simbología usual, la escala más conveniente de estos planos es la 1:2000. No olvides que deben estar indicadas las fuentes de suministro (tanques o bombas), todas las tuberías principales (mayores a 4"), y las estaciones de medición o pitométricas que existan.

Es importante que los planos estén actualizados o que lo actualices con todos los cambios que tengas conocimiento en las líneas.

### *Tarea 3.1.2 Datos hidráulicos*

Ahora debes recopilar los datos correspondientes al funcionamiento hidráulico de la red en "operación normal"<sup>1</sup>, para facilitar su comprensión a continuación se presenta un ejemplo, con base en la red que se muestra en la figura 3.1.

De la o las fuentes de suministro:

- Gasto y presión en la salida de las bombas de suministro a la red, ver formato en el cuadro 3.1 y figura 3.2<sup>2</sup>.
- Datos de tanques de regulación (elevación, volumen, carga disponible, etc.).

De la red de suministro:

- Características de los diferentes nodos de la red; tipo de nodo, gastos de demanda<sup>3</sup> y cota topográfica, ver formato en el cuadro 3.2.
- Características de los diferentes tramos de tubería de la red; tipo de tramo, nodos que conecta, diámetro y rugosidad del tramo que es función del material, diámetro y edad de la misma, ver cuadro 3.3.

1 Es importante determinar el funcionamiento hidráulico de la red, en la forma de operación común, evitando considerar operaciones extraordinarias, como puede ser la falla de una tubería o bomba.

2 Es conveniente que obtengas estos datos de medición en campo y no de las curvas teóricas.

3 La distribución de consumos en los nodos suele hacerse mediante tres procedimientos; área tributaria, longitud de tuberías y estimación de consumos medidos; en este caso debes elegir la que mejor se adapte a la calidad y cantidad de datos que dispongas.



Cuadro 3.1. Datos de operación de equipo de bombeo y potencia nominal.

Bomba # 1. Cárcamo Insurgentes. Curva de Operación de bombas			
Gasto l/s	Carga de presión mca	Eficiencia	Potencia H. P.
370	104.8	0.85	600
403.52	101.65	0.9	600
450	86	0.85	600
500	73	0.8	600

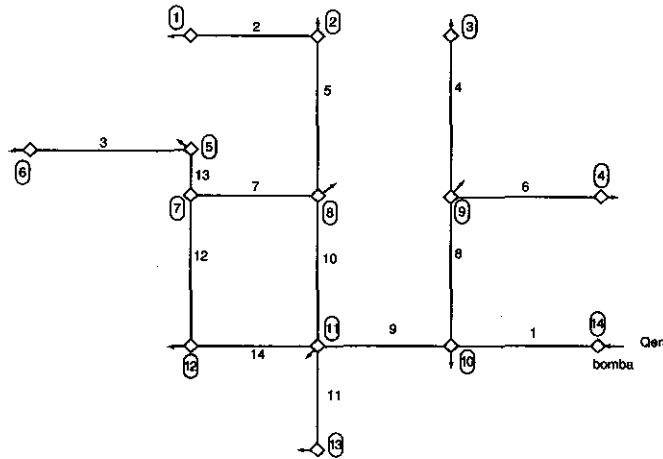


Figura 3.1. Ejemplo de red de distribución 14 nodos y 14 tramos.

Curva de operación de bomba # 1 en el cárcamo Insurgentes

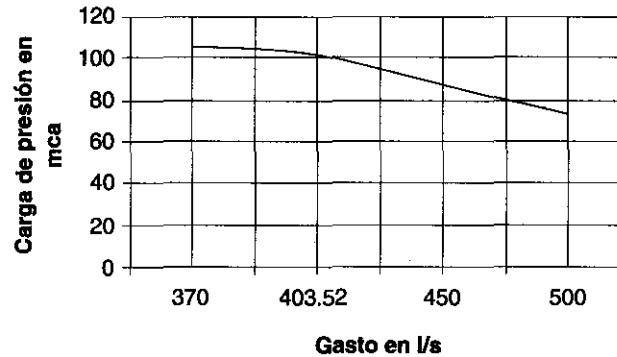


Figura 3.2. Curva de operación de bomba, obtenida con base a mediciones de campo.

Cuadro 3.2. Características de nodos de la red.

Nodos	tipo de nodo	demanda l/s	cota topográfica m
1	demanda	26.35	767.49
2	demanda	16.19	767.18
3	demanda	18.51	761.39
4	demanda	63.96	759.56
5	demanda	25.06	764.43
6	demanda	66.12	769.01
7	simple	0	765.96
8	demanda	47.76	771.15
9	demanda	39.51	765.66
10	demanda	17.2	768.09
11	demanda	20.92	774.19
12	demanda	26.35	771.14
13	demanda	35.54	777.84
14	fuentes <sup>4</sup>	-403.14	708.05

Cuadro 3.3. Características de los tramos de la red.

Tramo	tipo	nudo inicial	nudo final	longitud m	diámetro mm	Coefficiente de Rugosidad H.W
1	simple	14	10	304.8	500.0	130
2	simple	2	1	213.36	152.0	130
3	simple	5	6	304.8	279.0	130
4	simple	9	3	304.8	152.0	130
5	simple	8	2	304.8	235.0	130
6	simple	9	4	304.8	235.0	130
7	simple	7	8	213.36	189.0	130
8	simple	9	10	304.8	329.0	130
9	simple	11	10	213.36	406.0	130
10	simple	8	11	304.8	329.0	130
11	simple	11	13	304.8	305.0	130
12	simple	7	12	304.8	305.0	130
13	simple	7	5	106.68	329.0	130
14	simple	11	12	213.36	305.0	130

## ACTIVIDAD 2. MODELO DE LA RED

### Tarea 3.2.1 Formación de modelo de la red

Ahora debes formar un plano de la red, en donde, en forma esquemática, se incluya la totalidad de la red de distribución. Este plano te servirá

<sup>4</sup> En rigor debes armar la red y disponer de datos de la fuente, por ejemplo, si es una bomba tener su curva característica, al menos tres puntos de gasto contra presión y tener datos de la eficiencia de la bomba y de otras características como carga de succión.

posteriormente para análisis rápidos de la red y sobre todo para el análisis hidráulico de la red, en el debes indicar los siguientes datos<sup>5</sup>:

- De los nodos; número, gasto de entrada y salida, en l/s, cota topográfica y en los nodos de alimentación la carga piezométrica.
- De los tramos; número, longitud en m, diámetro en pulg., rugosidad, tipo de tramo (en el caso de tramos especiales (e.g. válvulas de seccionamiento, check, placas de orificio, etc.)
- Características de la fuente de alimentación, curvas de las bombas o cota piezométrica y topográfica de los tanques.
- Debes ubicar las válvulas que puedan afectar el funcionamiento de la red ya sea porque permanezcan cerradas o que por maniobras de los operadores se cierran y abran en determinado momento de la operación normal

Este plano te servirá, posteriormente, para incluir los resultados de las simulaciones en la fase de verificación del modelo y después se utiliza para la fase de calibración.

Es probable que no dispongas de toda la información o bien se requiera de cierto tiempo para obtenerla, pero esto no debe ser una limitante, ya que además es sumamente útil disponer del modelo para el análisis de funcionamiento de tu red y de posteriores modificaciones que desees realizar.

#### *Tarea 3.2.2 Armado de modelo numérico de la red*

Para que obtengas un conocimiento preciso de funcionamiento hidráulico de la red de distribución, a partir del plano del modelo, debes estructurar el modelo numérico de la red. Es muy común que no se disponga de un modelo numérico de la red, para ello es conveniente utilizar un programa de simulación, relativamente sencillo y comercial.

#### *Tarea 3.2.3. Datos del modelo*

Una vez que dispones del plano del modelo de la red, puedes proceder a cargar los datos al programa de computadora que efectúe la simulación hidráulica de funcionamiento. El modelo lo formas con los datos obtenidos en los puntos 3.1.1. y 3.1.2, o a partir del plano formado en la tarea 3.2.1. esto es:

- Una red formada con nodos y tramos de tubería.
- Los nodos requieren de coordenadas respecto a un sistema coordenado x, y que tu eliges, número de nodo, cota topográfica, tipo de nodo (alimentación, demanda, unión, etc.).

5. En este punto es conveniente que te asesores de los operadores más veteranos del sistema para afinar estos juegos de planos que son la base del proyecto.

- Los tramos requieren de un cierto número de identificación, los nodos que une, el tipo de tramo (tramo simple, con pérdida concentrada, etc.), diámetro y rugosidad.

En el armado del modelo existe un punto muy importante que tiene que ver con la estimación de la rugosidad de la tubería. Debes incluir un valor de coeficiente de rugosidad elegido con base en la edad de la tubería y en particular con sus condiciones reales de operación, ya que te ahorrará mucho trabajo en la fase de calibración. Normalmente será un dato difícilmente disponible, pero si tienes una buena idea de la edad de la tubería puedes utilizar la mostrada en la ref. 3.1.

#### *Tarea 3.2.4. Verificación del modelo*

Es común que una vez armado el modelo y cargado en el programa de cómputo, lo ejecutas para que arroje resultados de gasto y presión, seguramente muy diferentes a la operación real del sistema. Por lo tanto procede una fase de verificación de los datos que hayas introducido y validarlos uno por uno; un ejemplo típico de divergencias en los resultados obedece a la distribución de demandas en los nodos, esto es consecuencia de que normalmente esta distribución es una hipótesis de trabajo (se concentran los gastos en un sólo punto) y en consecuencia debe ajustarse considerando otra distribución de gastos, otro caso típico ocurre con los datos de los equipos de bombeo, en este caso se recomienda obtener los datos de campo como los mostrados en el cuadro 3.1 y no utilizar las curvas del fabricante.

Ya verificados los datos, el programa correrá normalmente y arrojará resultados de gasto y presión en la red, sin embargo siguen persistiendo diferencias en los valores de gasto y presión, antes de sectorizar necesitas conocer en forma confiable las condiciones hidráulicas en que trabaja tú red, esto significa estimar con cierta precisión las presiones en todos los nodos de la red y los gastos que conduce cada tubería, para lo cual no es suficiente con tener el modelo verificado, sino que es necesario **calibrarlo** con mediciones de campo. En caso de que no tengas un modelo calibrado que te permita conocer estos datos deberás proceder a efectuar la tarea 3.3.1, si dispones del modelo calibrado puedes pasar a la tarea 3.5.1.

### **ACTIVIDAD 3. CALIBRACIÓN DE LA RED**

Ahora debes iniciar un proceso de retroalimentación del modelo numérico, para efectuar esto debes realizar mediciones en campo de gasto y presión en las fuentes de suministro a la red y en distintos puntos de la red. Con la información que obtengas modificarás los datos del modelo

numérico hasta que los resultados de éste sean similares a los que se midan en campo. En esta fase siguiendo la guía podrás planificar tus mediciones y posteriormente procesar la información

### Tarea 3.3.1 Selección de número de estaciones y ubicación

En primer lugar deben seleccionarse los puntos de medición de gasto y presión. Con la cuadro 3.4 podrás estimar el número mínimo de puntos de medición de gasto y presión que debes construir en puntos estratégicos de la red. La ubicación de la estaciones es una labor que deberás realizar en conjunto con los operadores del sistema. Como reglas generales debes tratar de abarcar todas las zonas de presión de la red, sitios de bifurcación de líneas mayores a 10", a las salidas de los cárcamos de distribución y tanques de regularización, puntos críticos de suministro y en general donde se estime que cubres zonas amplias, la figura 3.3 te muestra un ejemplo de ubicación de los puntos de medición de gasto y presión en una ciudad con 165 nodos con 18 puntos de medición de gasto (incluyendo 3 puntos en las fuentes) y 25 puntos de medición de presión.

Cuadro 3.4. Selección de estaciones de medición.

Nº. de nodos del modelo de la red	Estaciones de medición
50	10 (5Q, 5P) <sup>6</sup>
60	15 (7Q, 8P)
80	20 (11Q, 9P)
100	25 (13Q, 12P)
150	30 (17Q, 13P)
200	33 (19Q, 14P)
250	36 (20Q, 16P)
300	39 (22Q, 17P)
350	41 (24Q, 17P)
400	43 (25Q, 18P)
500	44 (26Q, 18P)

Es importante que consideres que al menos los puntos ubicados en los cárcamos o tanques ubicados antes de distribuir el agua a la red deben de tener macromedidores calibrados y medir durante todo el tiempo que dure la campaña, ya que posteriormente serán usados para homogeneizar la información.

<sup>6</sup> (5q, 5P) significa: cinco estaciones de medición de gasto y cinco estaciones de medición de presión. En realidad todas las estaciones de medición de gasto pueden ser utilizadas como estación de medición de presión al mismo tiempo, así que es muy factible que el número mínimo de estaciones se pueda rebasar ampliamente. Lo que no se vale es tomar sólo cinco puntos y en ellos medir ambas variables.

### *Tarea 3.3.2 Equipo de medición*

Una vez decidido el número de estaciones de medición, se procede a la selección de los equipos de medición. En las fuentes de abastecimiento es común disponer de equipos de medición de gasto y presión, del tipo anubar o ultrasónicos. En este caso procede a efectuar una verificación del estado de estos equipos para saber si la información es confiable. Para la verificación lo más adecuado es utilizar equipos de pitometría, ver ref. 3.2.

En las estaciones seleccionadas para medición de gasto, el equipo más recomendable es un tubo pitot, que es uso más común en los sistemas o bien utilizar equipos ultrasónicos portátiles, si se cuenta con ellos. Adicionalmente los equipos pitot permiten efectuar mediciones simultáneas de gasto y presión, con lo cual sin mayor esfuerzo obtienes más información que con otros equipos.

En cuanto a las estaciones seleccionadas de para medición de presión, el equipo más recomendable es un registrador de presión continua, que es uso común en los sistemas, siendo posible utilizarlos para medición de un día o siete días. En este caso es recomendable utilizar equipos calibrados para un día de medición y realizar cambios de formato cada 24 horas para verificar que todo funcione adecuadamente.

### *Tarea 3.3.3 Tiempo de medición*

El tiempo de medición en cada punto debe ser de mínimo tres días de operación normal continua y el máximo siete días. Normalmente no se cuenta con suficientes equipos para medir simultáneamente, por lo tanto, y con idea de no extender demasiado este periodo, debes disponer de entre seis y ocho equipos para esta tarea. Persiste el problema de que el tiempo de medición sea demasiado largo. La forma de optimar el tiempo de medición, y poder utilizar la información como si hubiese sido simultánea que se propone consiste en lo siguiente:

Disponer de cuando menos cuatro equipos (registradores de presión o una combinación de un tubo pitot y tres registradores) que serán ubicados en la primera fase de medición (tres a siete días) como se muestra en la figura 3.4, con la leyenda E.H.Q.1 (estación hidrométrica para medición de gasto en la etapa 1) o E.H.P.1 (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) E.H.P.2 y E.H.Q.2, y se reubican los restantes tres equipos, (es decir no se mueve uno de los equipos y se procede a ubicar los otros tres), las siguientes etapas se sigue el mismo procedimiento hasta

cumplir con todas las estaciones. En el cuadro 3.5, se muestra el orden de medición de utilizado en la ciudad de ejemplo.

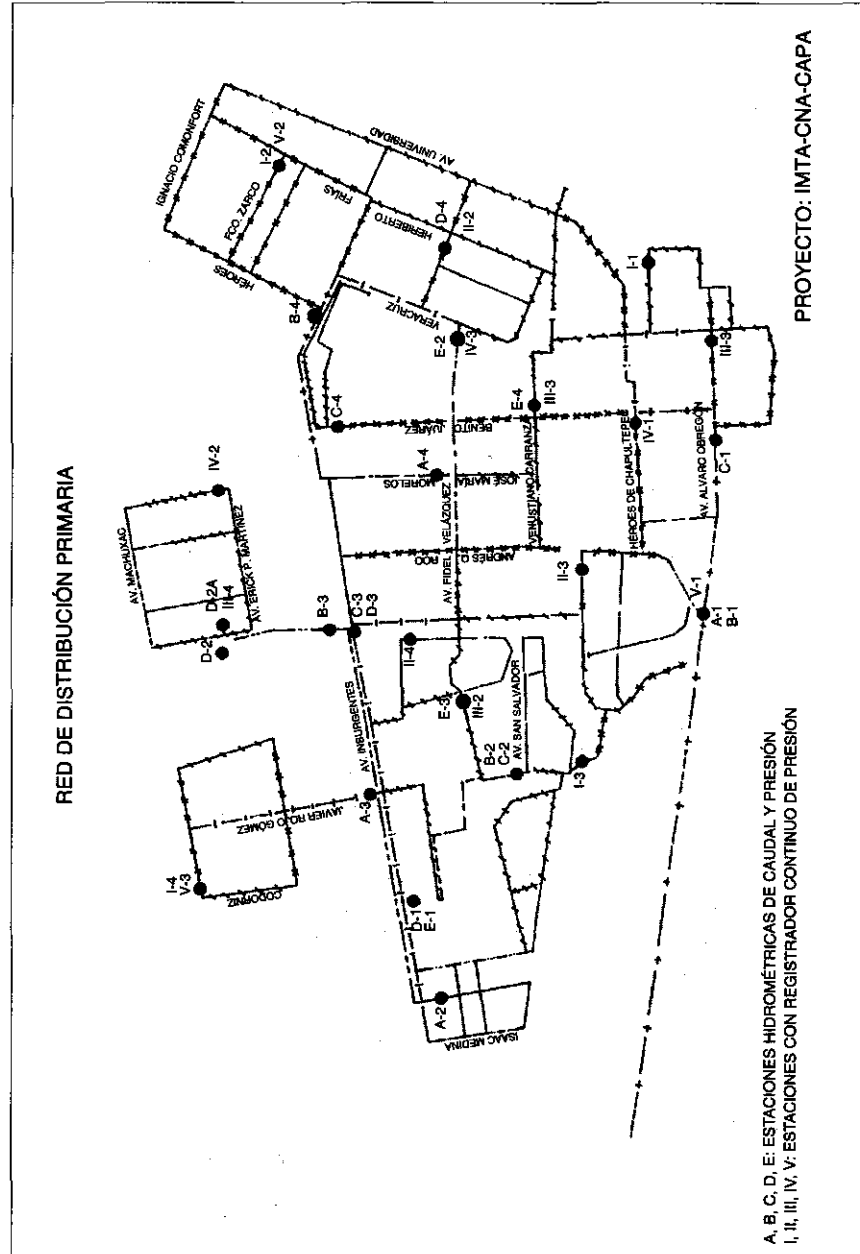


Figura 3.3. Ubicación de estaciones de aforo.

Estaciones de aforo de gasto y presión, método de pivote para optimizar uso de equipos.

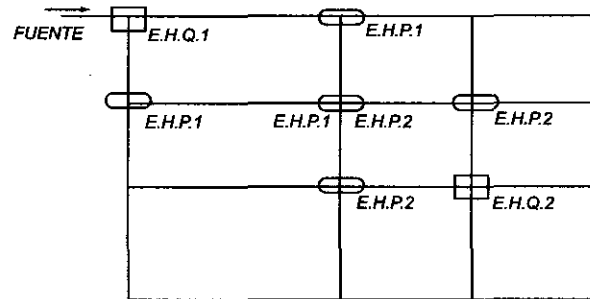


Figura 3-4. Ejemplo de ubicación de estaciones hidrométricas, método de pivote.

#### Tarea 3.3.4 Procesamiento de la información de campo

La información obtenida con los equipos de medición en campo es muy valiosa pero debe ser procesada para poderse usar, sobre todo si se dispone de pocos equipos de medición. El objetivo de esta fase es elegir las condiciones de funcionamiento hidráulico de la red que deben simularse en el modelo numérico para calibrarlo. Existe el caso extremo, en donde tú mediste en el mismo periodo (cuatro días), con tantos equipos de medición como estaciones hidrométricas existen, solamente deberás seleccionar un día en donde no hubo falla de equipos o alguna anomalía en el funcionamiento, y elegir la hora en que se presentaron las condiciones de máximo y mínimo gasto en la fuente principal.

Posteriormente obtén los valores en cada punto de medición, anótalos en el espacio correspondiente a cada estación del *Formato de captura de información de campo*, cuadro 3.6 e introduce los datos elegidos al modelo numérico. Ahora, ejecuta el programa, los resultados que obtengas debes compararlos conforme al criterio que se expone más adelante.

Sin embargo, si tú mediste por ejemplo; tres días en cada estación, pero en diferentes días. Existe por lo tanto un defasamiento en las fechas y seguramente existirá una variación de los consumos y presiones, esta inconsistencia se debe a la variabilidad de los consumos de un día respecto a otro. Para homogeneizar o hacer consistente la información debes seguir el siguiente procedimiento:

- a. Selecciona la principal fuente de alimentación a la red, seguramente tiene lecturas de gasto y o presión a cada cierto intervalo.





filtrar estos datos siguiendo la tendencia del funcionamiento en ese momento o si el paro fue prolongado elimina el intervalo de medición. En el caso de las figuras. 3.5 y 3.6, se observan caídas fuertes de gasto y presión debido al paro de los equipos de bombeo, e.g. en la hora 48, en este caso se eliminan estos valores y se vuelven a utilizar a partir de la hora en que se restablece el servicio, 50 o 51.

- e. Con los datos de la fase de medición en análisis ya verificados y filtrados, se obtiene el promedio general de gasto y presión para cada instante, una gráfica de ellos se puede observar en las figuras. 3.7 y 3.8.
- f. Elige los gastos máximos y mínimos de este registro y anota la hora y las lecturas de gasto y presión, en un formato como el del cuadro 3.8

Cuadro 3.6. Proyecto de sectorización de la red.

Formato de captura de información de campo			
Sistema: Chetumal			
Periodo de medición: 11 a 18 de Octubre		Estación: Todas	
Condición: Gasto Máximo		Hora: 12:15	
Fecha de carga de datos: 02/11/96		Ubicación:	
Estación Hidrométrica	Hora	Presión (mca)	Gasto (l/s)
1	12:15	13	123
2	12:15	13.1	120
3	12:15	13.05	121
.	...	...	...
23	12:15	1.9	
24	12:15	3.2	
.	...	...	...
44	9:30	4	
45	9:45	2.1	13

Cuadro 3.7. Proyecto de sectorización de la red.

Formato de captura de información de campo			
Sistema: De distribución de agua potable de Tizimin			
Periodo de medición: 11 a 18 de Octubre de 1996		Estación: 1-A	
Fecha de carga de datos: 17 de Octubre de 1996		Ubicación: Xela eq. Vértiz	
Estación	Hora de lectura	Presión (mca)	Gasto (l/s)
1-A (día 1)	10:00	13	123
	10:15	13.1	120
	10:30	13.05	121
.	...	...	...
1-A (día 2)	10:00	11.4	135
.	...	...	...
.	9:30	11	140
1-A (día 5)	9:45	11.3	135

- g. Repite los pasos b a e en cada una de las fuentes de alimentación y en las estaciones medidas en el mismo periodo, y anota los gastos y presiones y/o gastos correspondientes a la hora de máximo y mínimo de la principal fuente de alimentación (elegida en el paso f) en el formato del cuadro 3.9, en este caso se pudo medir con cinco equipos al mismo tiempo, en tres estaciones gasto y presiones y en dos estaciones, sólo presión.

Curvas de gasto de la estación A1  
del 4 al 10 de octubre

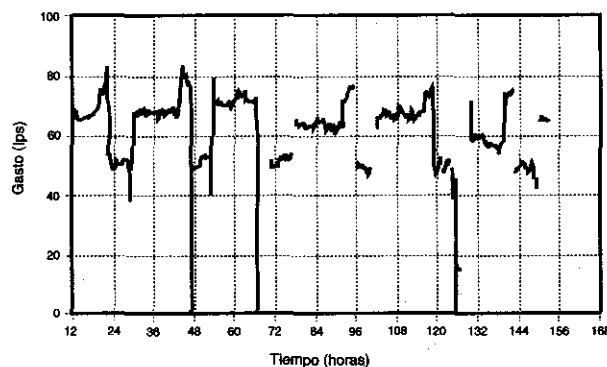


Figura 3.5. Registro de gastos en la estación A-1.

Curvas de presión de la estación A1  
del 4 al 10 de octubre

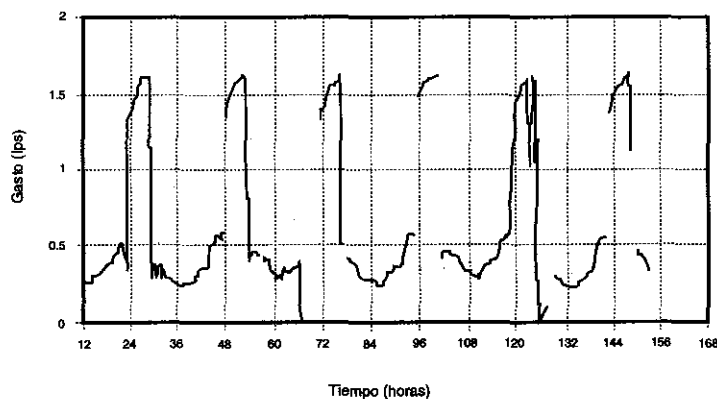


Figura 3.6. Registro de presión en la estación A-1.

- h. Ahora toma el registro de la fase 2 de medición de la estación hidrométrica que haya quedado como pivote, y repite los pasos b a e.  
i. A continuación, se debe establecer la consistencia de datos, para esto debes comparar los registros promedio del punto pivote, (obtenidos

en h) con los registros promedio de gasto y presión de la fase 1 de medición. Inspecciona los registros y establece si existen diferencias importantes en los valores promedio (digamos más del 10%), si se presentan diferencias de este tipo debes establecer una consistencia de datos y sumar o restar, según sea el caso los valores de la fase dos, el valor tal que los valores medios sean similares en ambas fases.

### Variación del gasto

Estación A1 (4 al 10 de octubre)

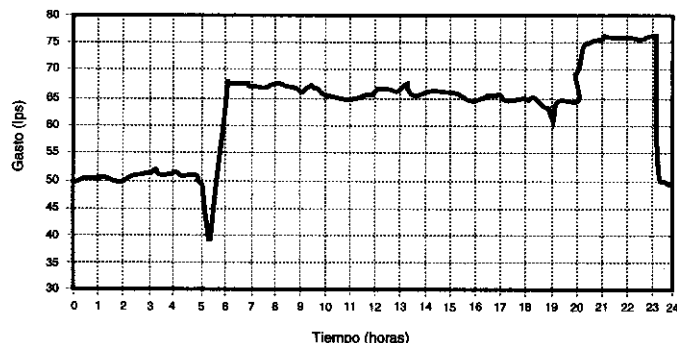


Figura 3.7. Registro promedio de gasto en estación A-1.

### Variación del gasto

Estación A1 (4 al 10 de octubre)

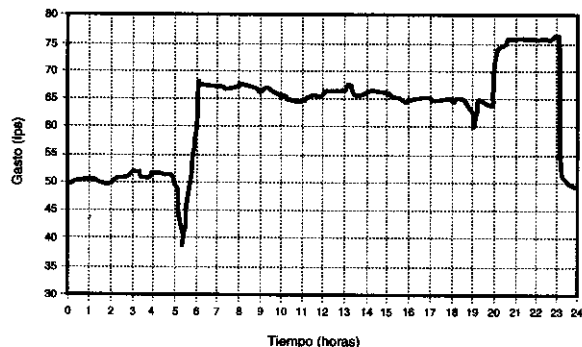


Figura 3.8. Registro promedio de presión en estación A-1.

Por ejemplo, en la figura 3.9 se muestran los datos de gasto promedio horario del punto pivote (fuente de alimentación principal) en las fases de medición 1 y 2. Puede establecerse que existen tres zonas claramente definidas, a saber:

Cuadro 3.8. Proyecto de sectorización de la red.

Formato de captura de información de campo			
Sistema: Chetumal			
Periodo de medición: 11 a 18 de Octubre		Estación: Todas	
Condición: Gasto Máximo		Hora: 12:15	
Fecha de carga de datos: 02/11/96		Ubicación: Todas las estaciones	
Estación Hidrométrica	Observaciones	Presión (mca)	Gasto (l/s)
1	Fuente principal, Cárcamo Bachilleres	13	123

- De las 0 a las 5 horas, en la fase 1 se tiene mayor gasto, alrededor de 10 l/s, entonces los valores de gasto de la fase 2 de está y las demás estaciones de aforo de gasto en la fase 2, se les deberá sumar 10 l/s, en este periodo, para hacerlas consistentes.
- De las 6 a las 19 horas, el registro es muy similar y por tanto se deberá respetar los valores obtenidos en las demás estaciones de aforo de gasto en la fase 2, ya que son consistentes.

Cuadro 3.9. Proyecto de sectorización de la red.

Formato de captura de información de campo			
Sistema: Chetumal			
Periodo de medición: 11 a 18 de Octubre		Estación: Todas	
Condición: Gasto Máximo		Hora: 12:15	
Fecha de carga de datos: 02/11/96		Ubicación: Todas las estaciones	
Estación Hidrométrica	Observaciones	Presión (mca)	Gasto (l/s)
1	Fuente principal C. Bachilleres	13	123
2	Fuente sec. Cárcamo Insurgentes	11	89
3	Fuente sec. C. Los Arcos	15	97
4	Medidor de presión	10.9	no registrado
5	Medidor de presión	7.3	no registrado

- De las 20 a las 24 horas, en la fase 1 se tiene mayor gasto, alrededor de 8.5 l/s, entonces los valores de gasto de la fase 2 de está y las demás estaciones de aforo de gasto en la fase 2, se les deberá sumar 8.5 l/s, en este periodo, para hacerlas consistentes.

En el caso de presiones, el resultado debe ser similar al mostrado en la figura 3.10, en este caso deberás seguir un procedimiento similar a de los gastos para lograr la consistencia de ambas fases y poder suponer que son registros similares, en todas las estaciones de medición de presión de la fase 2.

### Gasto en la estación pivote Fases 1 y 2

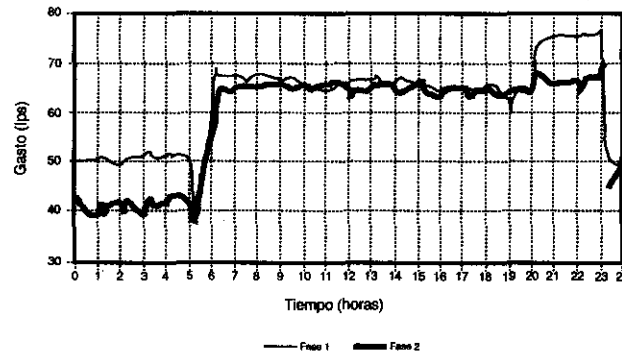


Figura 3.9. Consistencia de datos de gasto en estación pivote.

### Presión en la estación pivote Fases 1 y 2

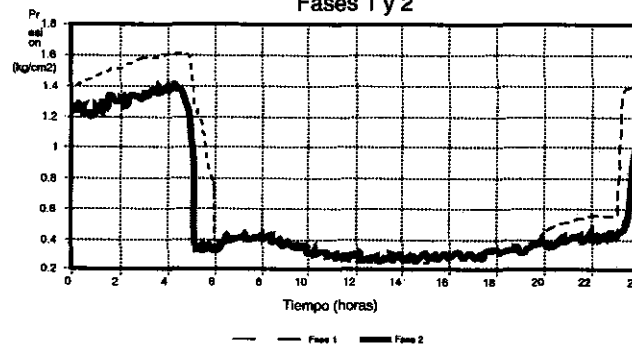


Figura 3.10. Consistencia de datos de presión en estación pivote.

- j. Ahora deberás efectuar el procedimiento de consistencia de gasto y presión en todas las estaciones de la fase 2, una vez terminada esta etapa; deberás repetir el procedimiento para cada etapa de medición hasta la última que tengas en el programa de medición<sup>7</sup>, haciendo consistente la tercera fase con la segunda y a su vez la segunda con la primera.

<sup>7</sup> Si bien en el texto se ha presentado el ejemplo de consistencia de datos entre las etapas 1 y 2, en la práctica es conveniente empezar por la última etapa de medición y hacerla consistente con la penúltima, y efectuar el proceso inverso al presentado.

- k. Una vez que dispongas de los registros de la totalidad de las estaciones hidrométricas con datos verificados en su consistencia, puedes llenar tu formato de captura de datos para el modelo en condiciones de gasto máximo y mínimo, como se indica en el cuadro 3.10
- l. El formato mostrado en el cuadro 3.10 te permitirá correr el modelo numérico partiendo de estos datos, para la condición de gasto máximo. Un procedimiento similar debes seguir para obtener las condiciones de gasto mínimo, repitiendo los pasos g hasta j, ver cuadro 3.11.

### Tarea 3.3.5 Verificación y validación del modelo

**El criterio que debes usar para considerar calibrado el modelo considera que las diferencias entre los datos de presión de modelo numérico y medida en campo sean menores a  $\pm 20.0$  por ciento.**

Una vez que dispones de los datos de gasto y presión de campo de el cuadro 3.10, debes seguir estos pasos:

Para las condiciones de gasto máximo

- Paso 1 Ubica las estaciones de medición en un plano.
- Paso 2 En una copia de este plano indica los gastos y presiones correspondientes a cada estación.
- Paso 3 Efectúa una redistribución de los gastos en los nodos a partir de los valores de gasto de las estaciones, que son gastos reales, basado en los consumos tributarios de cada tramo y

Cuadro 3.10. Proyecto de sectorización de la red.

Formato de captura de información de campo			
Sistema: Chetumal		Estación: Todas	
Periodo de medición: 11 a 30 de Diciembre		Hora: 12:15	
Condición: Gasto Máximo		Fecha de campo de datos: 02/11/98	
Estación Hidrométrica	Observaciones	Presión (mca)	Gasto (l/s)
1	Fuente principal C. Bachilleres	13	123
2	Fuente sec. Cárcamo Insurgentes	11	89
3	Fuente sec. C. Los Arcos	15	97
4	Medidor de presión	10.9	no registrado
5	Medidor de presión	7.3	no registrado
6	Estación Pitométrica B2	8	76.4
23	Estación Pitométrica C4	5.2	35.7
45	Medidor de presión	6.7	no registrado

que se cumpla la continuidad en los nodos (método de circuitos).

- Paso 4 Modifica los archivos de datos del modelo numérico
- Paso 5 Ejecuta el programa AH206.
- Paso 6 De la hoja de resultados indica los valores obtenidos en el modelo en cada punto de medición sea gasto y/o presión.
- Paso 7 Comparar los resultados de ambos casos.
- Paso 8 Corrige los datos del modelo numérico con el procedimiento siguiente:
- Verificar que los datos de tramos y nodos sean correctos.
  - Que la red tenga tramos que no existen o con características diferentes de diámetro, rugosidad, etc., deberás verificar en campo los datos, válvulas parcialmente cerradas, incluso que existan tramos no identificados en el modelo.
  - Que las demandas supuestas en los nodos sean diferentes, en este caso deberás modificarla con base en los resultados de campo que son los reales (redistribución de gastos en nodos).
  - Que los datos de gasto y/o presión en las estaciones de suministro sean diferentes. Deberás verificar las curvas características de las bombas y los resultados de las estaciones hidrométricas de fuentes.

Cuadro 3.11. Proyecto de sectorización de la red.

Formato de captura de información de campo			
Sistema: Chetumal		Estación: Todas	
Período de medición: 11 a 30 de Octubre		Fecha: 2/1/95	
Condición: Bata mínima		Ubicación: Todas las estaciones	
Fecha de carga de datos: 02/11/95		Ubicación: Todas las estaciones	
Estación Hidrométrica	Observaciones	Presión (mca)	Gasto (l/s)
1	Fuente principal C. Bachilleres	12	57
2	Fuente sec. Cárcamo Insurgentes	9	35
3	Fuente sec. C. Los Arcos	5.5	40
4	Medidor de presión	6.9	no registrado
5	Medidor de presión	7.3	no registrado
6	Estación Pitométrica B2	4.8	16.1
23	Estación Pitométrica C4	6.2	15.3
45	Medidor de presión	7.7	no registrado



- e) Los coeficientes de rugosidad de las tuberías deben verificarse en campo o bien, por ensayo y error modificarlos en el programa hasta que el criterio de convergencia se cumpla, ya que puedes estar estimando menores pérdidas de energía, y en realidad por tener rugosidades muy altas en los tramos, las pérdidas son mayores o bien existen válvulas cerradas y/o algún tipo de obstrucción.
- f) Una vez verificados los datos anteriores, y si persisten diferencias deberás verificar la calibración de tus equipos y en su caso repetir algunas mediciones.
- g) Una vez revisadas las posibles fuentes de discrepancia modifica tu archivo de datos y ejecuta el programa hasta cumplir el criterio de convergencia, en caso contrario regresa a a).

Después de verificar todas las variables posibles **a)** a **g)** y que obtengas resultados similares en modelo y de medición en campo, debes repetir el procedimiento para la condición de gasto mínimo, pasos 1 a 9.

Es probable que aún persistan diferencias entre modelo y 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, cerciórate de cumplir con estas condiciones, introdúcelas en el modelo y verifica la similitud de modelo y prototipo.

#### ACTIVIDAD 4. TRAZO EN SECTORES

Esta tarea consiste en que tú determines en un plano de la red los sectores en que estimas conveniente subdividir la red para facilitar la operación de la red de distribución, preferentemente aprovechando los sectores utilizados en el estudio de diagnóstico y los arreglos naturales de la operación del sistema.

##### *Tarea 3.4.1 Guías de trazo*

No existen reglas precisas para el trazo, sólo recomendaciones generales que debes considerar e identificar para esta tarea, por ejemplo;

- Zonas de presión existentes (en el modelo calibrado será fácil identificar estas zonas).
- Zonas con diferentes niveles de consumo (zonas populares, residenciales, comerciales, etc.).
- Cotas topográficas.
- Avenidas importantes.

- Zonas con tuberías muy viejas, etcétera.
- Cada sector debe estar alimentado por una sola línea.
- Los sectores no deben tener alimentaciones a otros sectores, es decir no deben existir salidas de gasto a otros sectores.
- De preferencia debe existir una estación hidrométrica a la entrada de cada sector.

Con base en estas guías se establece un primer trazo de los sectores de la red.

Debes tener en mente que los sectores deben tener sólo una entrada de agua y de ser posible ninguna salida a otro sector, no olvides considerar la posibilidad de incluir nuevos tramos de tubería o sustitución de aquellas que por su estado convenga rehabilitar o sustituir, la inclusión y eliminación de válvulas. En este punto puede preocuparte que la red quede "débil" por tener una sola entrada, más adelante puedes establecer un análisis de confiabilidad para incluir alimentaciones de respaldo.

#### *Tarea 3.4.2 Trazos preliminares*

Una vez que identificas el trazo preliminar de sectores debes efectuar los siguientes pasos:

- Efectúa un análisis global de suministro contra consumo.
- Define las áreas de influencia de cada fuente de suministro y hazlo compatible con el trazo preliminar.
- Incluye los cortes a las líneas que debes realizar para aislar los sectores.
- Incluye las válvulas necesarias para aislar los sectores.
- En esta fase es recomendable establecer varios trazos con el fin de contar con **al menos tres probables esquemas de sectorización.**

Por ejemplo, las figuras 3.11 a 3.13 presentan diferentes opciones de sectorizar una red. Los elementos considerados en este caso son; la topografía es plana, existen tres fuentes de abastecimiento, y se dispone de una estimación de consumos y suministros de cada fuente.

En la figura 3.11 se dispone un esquema de dos sectores, combinando en uno de ellos dos fuentes de abastecimiento, cárcamos km-8 y Bachilleres.

En la figura 3.12 se presenta un esquema de tres sectores, cada uno con su fuente de abastecimiento, cárcamos km-8, Insurgentes y Bachilleres.

La figura 3.13 se muestra un esquema de sectorización en cinco zonas; en éste, el área de influencia del cárcamo Bachilleres, se divide en tres zonas,

dos de ellas son sectores naturales, ya que sólo se conectan a la red en un punto y aislarlas es sumamente fácil, basta con colocar una válvula y una estación hidrométrica en cada una de ellas. El área de influencia de los otros dos cárcamos de suministro permanecen sin cambios mayores.

En cada una de las figuras se indican los cortes que se propone realizar, que físicamente son válvulas o cortes a la red, se observa que la mayoría de ellos, sólo dispone de una entrada de agua y cero salidas, ver figura 3.14.

En el **anexo 3.A** de esta sección se describe con mayor detalle el tema de sectorización de redes de distribución de agua potable.

### **ACTIVIDAD 5. ANÁLISIS HIDRÁULICO DE SECTORES**

Cada esquema de sectorización debe ser analizado hidráulicamente para determinar su factibilidad técnica, por ello deberás instrumentar la información al respecto para poder efectuar las simulaciones y posteriormente definir su funcionamiento hidráulico.

En este caso es probable que configures seis o diez esquemas, pero sólo algunos de ellos deberán ser analizados a profundidad de tres a cinco, para estos últimos deberás seguir estos pasos:

#### *Tarea 3.5.1 Caracterización de esquemas de sectorización*

- Para cada uno de los esquemas de sectorización preliminares, "armas" un nuevo modelo, esto es, se ubican los cortes en la red que posibilitan el aislamiento de los sectores a una sola entrada y cero salidas a otro sector.

#### *Tarea 3.5.2 Formación de modelos numéricos de esquemas de sectorización*

- Determinas las características de la nueva red en los formatos correspondientes, ver tareas 3.1.2, 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3 y 3.2.4, de tal forma que dispongas de tantos modelos de la red como esquemas de sectorización desees analizar.

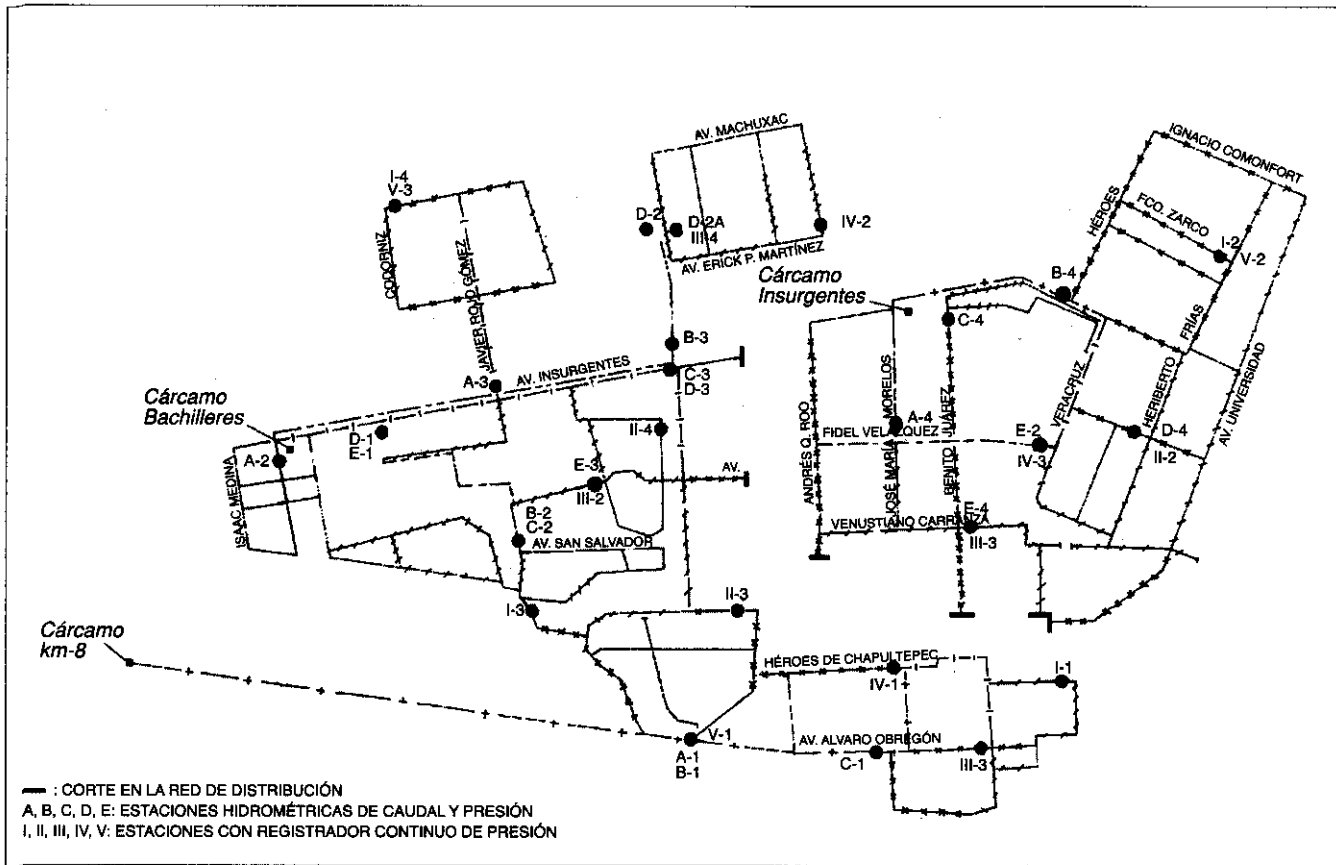


Figura 3. 11. Esquema A (división de la red en dos sectores).

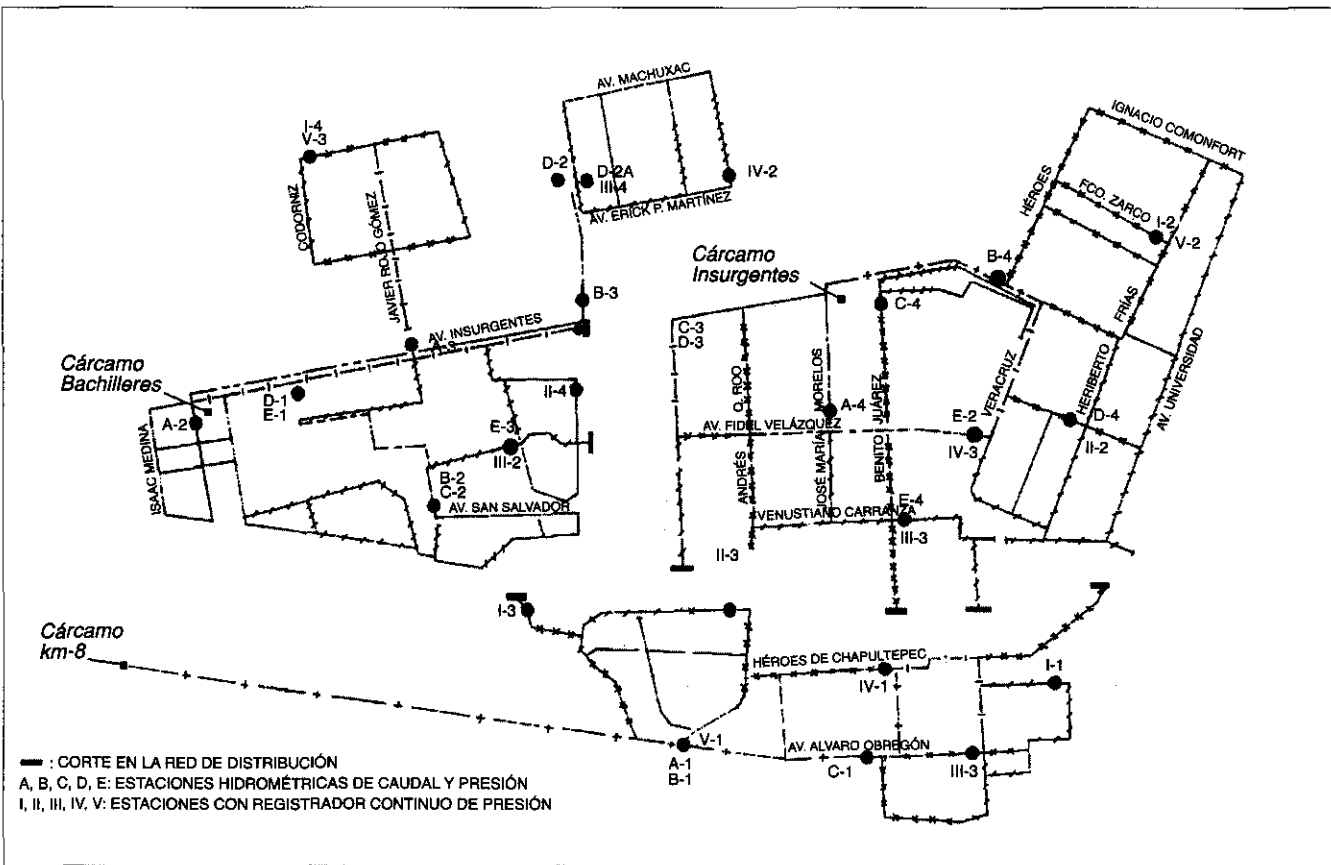


Figura 3.12. Esquema B (división en la red en tres sectores).

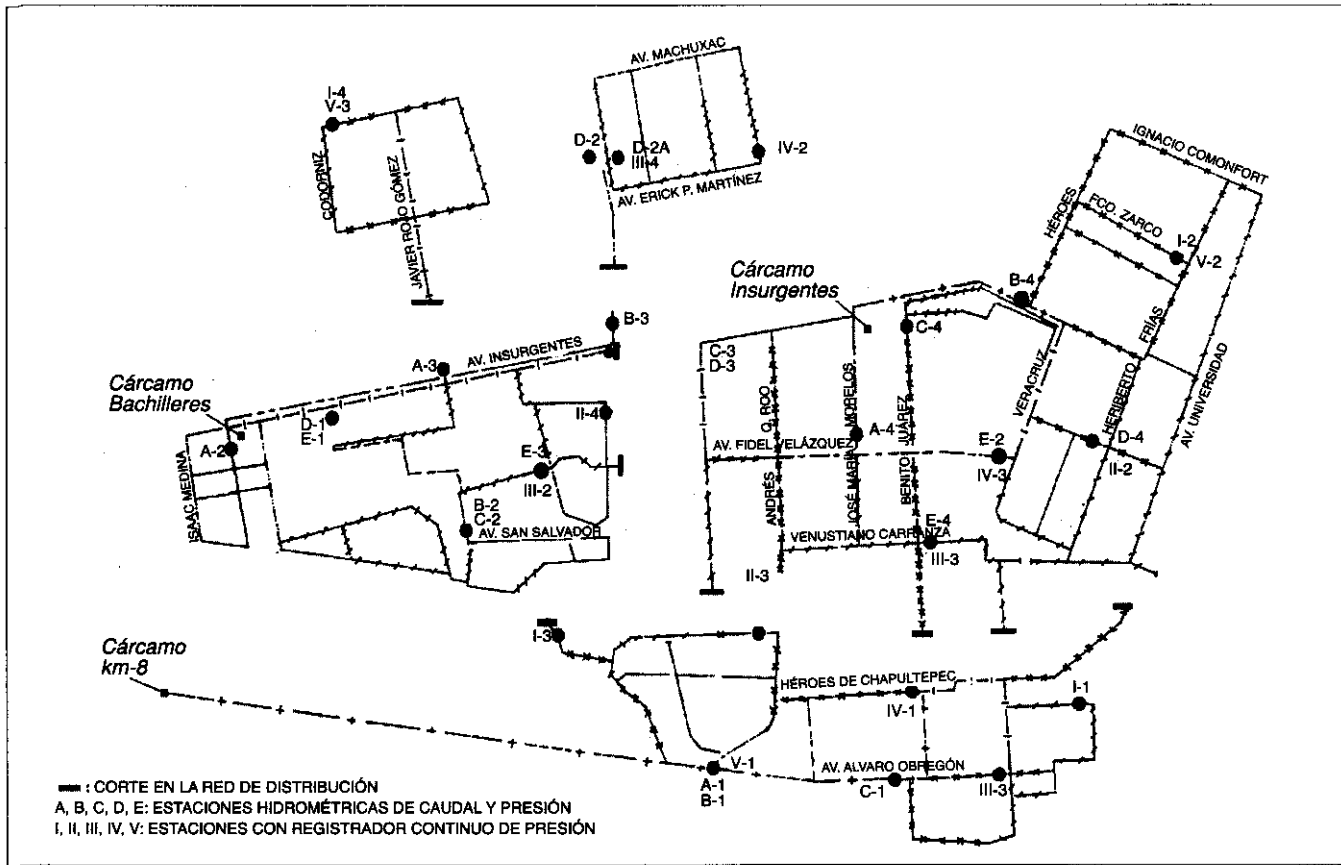


Figura 3.13. Esquema C (división de la red en cinco sectores).

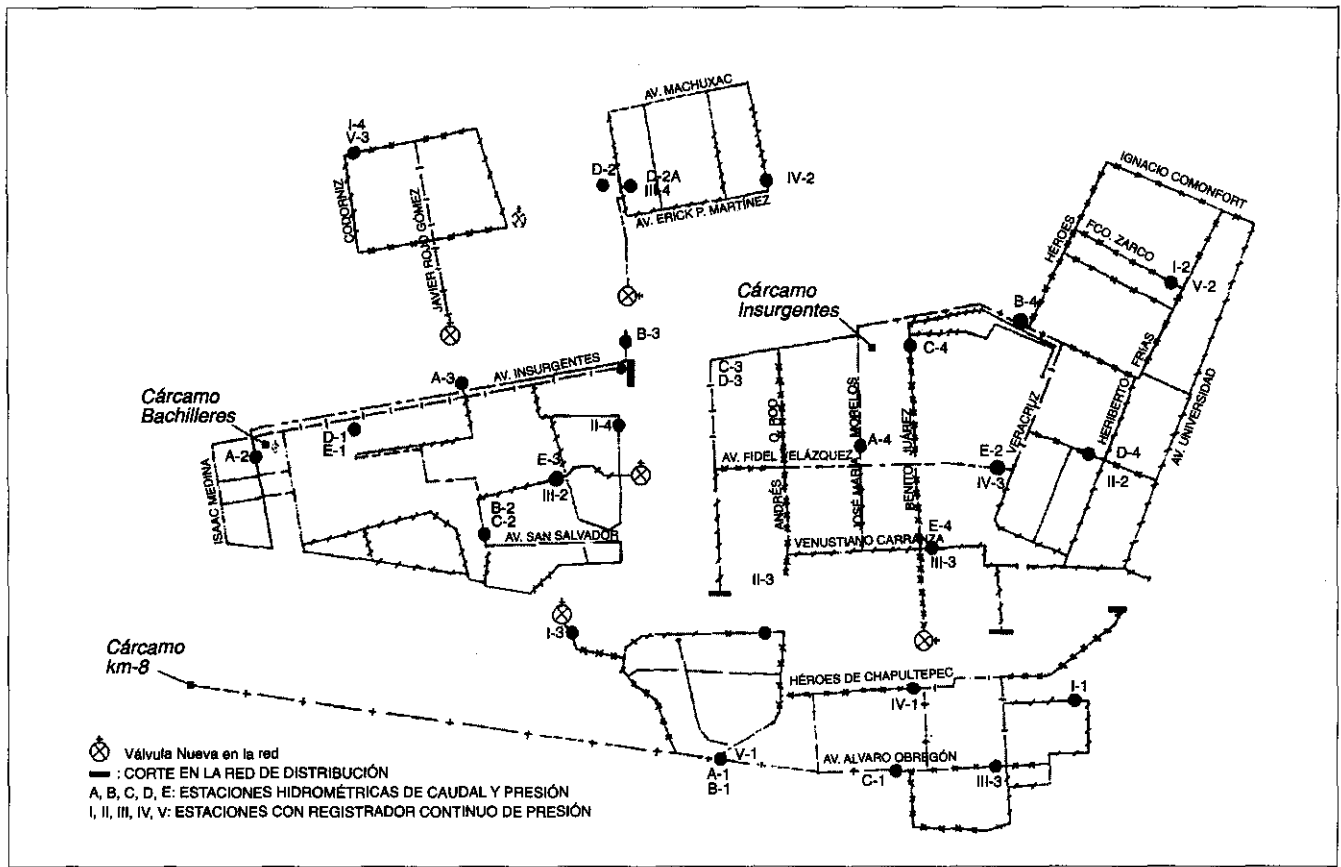


Figura 3.14. Esquema de sectorización, indicando cortes o válvulas nuevas.

### *Tarea 3.5.3 Determinación de funcionamiento de esquemas de sectorización*

- Una vez que dispones de los modelos se simula el funcionamiento hidráulico de cada esquema con el programa de cómputo.

### *Tarea 3.5.4 Esquematización de resultados de sectorización*

- Determina los datos de gasto y presión en cada nodo en los diversos modelos vaciando los resultados en un plano de la red sectorizada para cada caso. Esta es una labor importante porque se determina la factibilidad técnica de cada esquema.
- Marca las zonas en donde no se cumplen las condiciones de diseño y las zonas de funcionamiento adecuado, de esta forma dispones de una herramienta gráfica para evaluar el funcionamiento de cada esquema, ver fig. 3.15

## **ACTIVIDAD 6. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS**

Una vez que dispones de los planos de funcionamiento hidráulico de las alternativas de sectorización debes efectuar una evaluación de las mismas.

### *Tarea 3.6.1 Determinación de eficiencia técnica*

Para determinar la eficiencia técnica de cada esquema, se recomienda evaluar a través del número de nodos con adecuado funcionamiento. Por ejemplo, en el cuadro 3.12 se presenta el caso de tres alternativas, en donde podría presentarse el siguiente resumen:

**Cuadro 3.12. Eficiencia hidráulica de esquemas de sectorización.**

Alternativa	Número de nodos con buen funcionamiento	Número de nodos con mal funcionamiento
A	70 %	30 %
B	80 %	20 %
C	95 %	5 %

### *Tarea 3.6.2 Determinación del costo*

Para cada esquema analizado deberás determinar el costo que se deriva de su implantación; esto debe considerar:



Reducción integral de pérdidas

Diseño de redes con distritos hidrométricos integrados

- Cortes de líneas
- Equipos de bombeo
- Válvulas nuevas
- Tanques de regularización
- Tramos nuevos
- Sustitución de tramos

Deberás efectuar la inclusión de equipos de bombeo, tanques o tramos nuevos para alcanzar el 100 % de funcionamiento adecuado, por ejemplo ver la fig. 3.16.

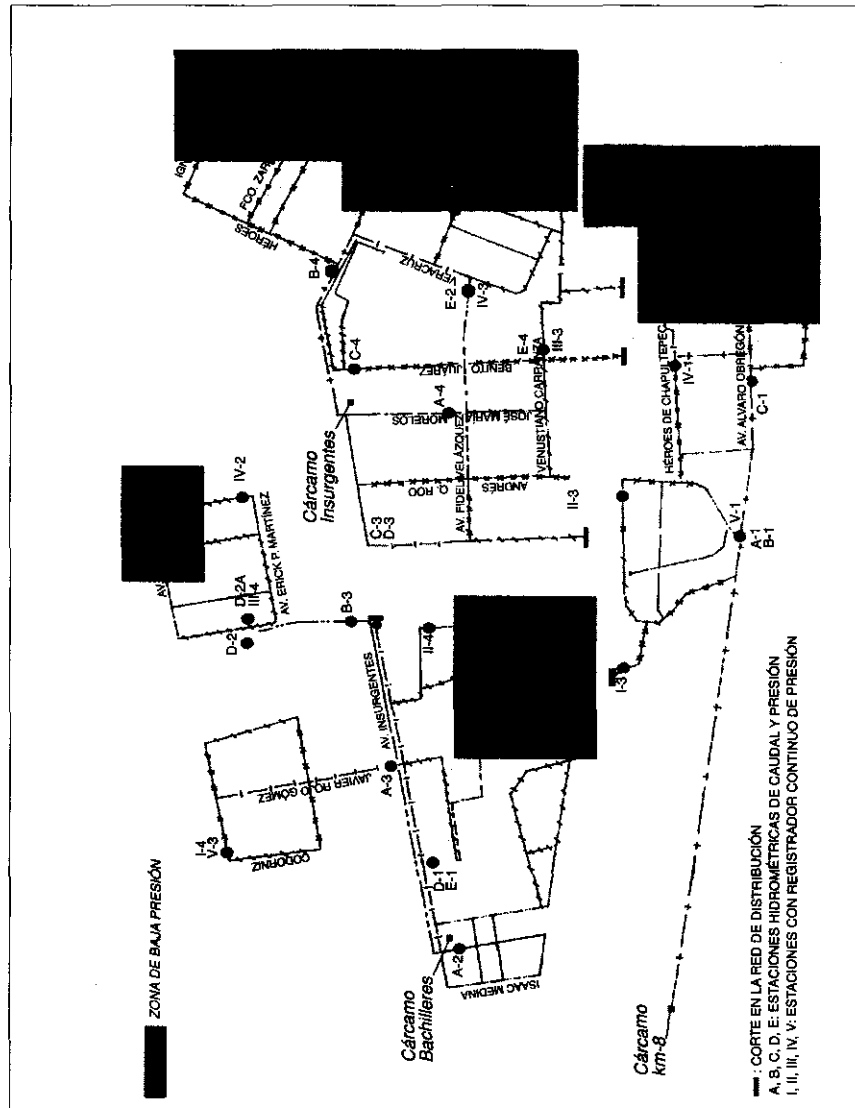


Figura 3.15. Análisis hidráulico de los sectores, se indican las zonas de baja presión.

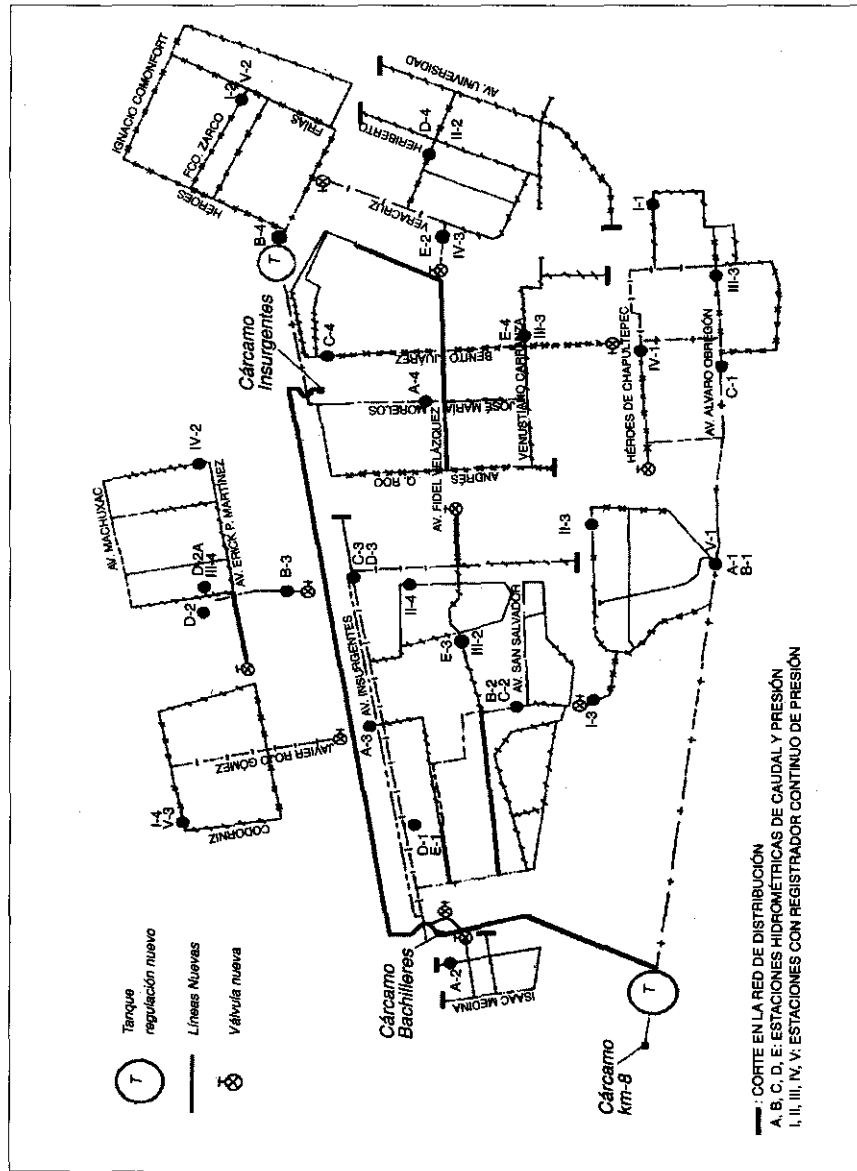


Figura 3.16. Propuesta de sectorización (nueve sectores) y obras para suministro con 100% de eficiencia.

Tarea 3.6.3 Determinación de costo a 100% de eficiencia

Puede ser de interés determinar la factibilidad de que todos los esquemas funcionen con una eficiencia de 100% en suministro de gasto y presión,

esto se puede lograr con la inclusión de más equipos o sustituyendo tramos existentes por otros de mayor diámetro, en este caso deberás modificar tus modelos de red hasta obtener el 100% de cumplimiento de gasto y presión en los nodos y obtener su costo correspondiente.

#### *Tarea 3.6.4 Selección de esquema de sectorización*

La selección del esquema de sectorización, esta tarea puede efectuarse a través de:

- Buen funcionamiento hidráulico.
- Mínimo costo en cortes, inclusión de válvulas y tramos adicionales.
- Mínimo costo de inclusión de bombas, tanques, tramos nuevos, etc., para alcanzar el 100 % de funcionamiento adecuado.

Una vez efectuado el análisis puedes elegir aquella de costo mínimo con el 100 % de funcionamiento adecuado.

#### *Tarea 3.6.5 Confiabilidad del sistema*

Es muy conveniente, para incrementar la Confiabilidad del Sistema de Distribución (garantizar suministro en tiempo y espacio en las condiciones de diseño) incluir las siguientes obras:

- a) Una interconexión entre las fuentes de abastecimiento, de forma tal que; ante el eventual fallo de una línea de suministro (acueducto) pueda derivarse agua de otras fuentes a la zona con problemas.
- b) Dejar dos válvulas cerradas, que comuniquen sectores, para ante una eventual falla del suministro, abrir las válvulas y derivar durante ciertas horas del día, el agua de un sector a otro para cubrir parcialmente el suministro.
- c) Incluir tanques de regulación para disminuir los problemas de variación de presión, que implican fallos de tubería y facilitan la presencia de fugas y además permiten cierto almacenamiento de reserva.
- d) Incrementar el tamaño de las tuberías por sobre el mínimo necesario para tener mayor capacidad de conducción ante el eventual cierre de un tramo del sector por falla de tuberías o bien obras de mantenimiento.
- e) Cambiar tuberías muy viejas que produzcan pérdidas de energía por sobre los valores admisibles ( $C_{H.W.} < 80$ ) o que evidencien fallas continuas de la tubería, que ocasionen fallas en el suministro.

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

### *Tarea 3.7.3 Ejecución*

Deben efectuarse pruebas en campo, en donde se verifique el aislamiento de los circuitos hasta garantizar que disponemos de todos los elementos para aislar los distritos.

## **ACTIVIDAD 8. ELABORANDO LOS PLANOS DE DISEÑO**

Deberán generarse planos ejecutivos de todas las obras que sean necesarias para obtener el funcionamiento hidráulico satisfactorio y que fueron verificadas en el modelo de la red, por ejemplo en el caso presentado en esta guía, las indicadas en la fig. 3.16, más los equipos de bombeo que no están indicados.

Deberán cuantificarse las cantidades de obra y los costos respectivos, sus tiempos de ejecución, así como la forma de operación de las mismas.

Los sectores son dibujados en los planos, señalando el programa de movimiento de válvulas, la ubicación de las estaciones de aforo y haciendo simulaciones hidráulicas de los cierres, para revisar si se generan presiones y velocidades que no cumplen con las especificaciones de diseño.

Durante la eliminación de pérdidas, evitar que el agua de fugas reparadas en un DH ingrese a otros sectores en donde no se ha llevado a cabo el programa de recuperación.

Deberán cuantificarse los elementos necesarios para incluir en los planos; como cantidades de obra, para disponer de planos ejecutivos.

## **REFERENCIAS**

{3.1} Velitchko Tzachkov, *Manual de usuario del simulador hidráulico de redes AH206*, IMTA-CNA, México 1994.

{3.2} Velitchko Tzachkov, *Obtención de coeficientes de rugosidad de tuberías con la edad*, IMTA-CNA, México 1990.

Por ejemplo, la fig. 3.16, ya incluye este tipo de obras.

## ACTIVIDAD 7. DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE SECTORES Y RED

Una vez que se ha definido el esquema de sectorización debe efectuarse el diseño de los elementos de control, esto es, en cada sector deben disponerse elementos para poder subdividir en distritos hidrométricos que serán los elementos de control de la operación, pero sólo en ciertas momentos y no permanentemente (fase de recuperación), este paso consiste en dejar preparado el terreno para poder efectuar los aislamientos fácilmente.

La técnica de distritos hidrométricos, DH, consiste básicamente en aislar pequeñas zonas de la red, donde se realizan mediciones de los volúmenes abastecido y consumido por los usuarios en cada zona, durante un periodo de 24 horas como mínimo, para calcular índices de consumo que determinan una mayor o menor incidencia de fugas, se recomienda consultar el manual de la CNA *Control de fugas en sistemas de distribución*, ref 3.4, donde se detalla ampliamente la técnica de circuitos hidrométricos.

### *Tarea 3.7.1 Localización de distritos hidrométricos en sectores*

Los DH son dibujados en los planos, señalando el programa de movimiento de válvulas, la ubicación de las estaciones de aforo y haciendo simulaciones hidráulicas de los cierres, para revisar si se generan presiones y velocidades que no cumplen con las especificaciones de diseño. En el **anexo 3.B** se presenta la manera de integrar los distritos hidrométricos dentro de los proyectos de redes de agua potable.

El tamaño de cada distrito varía conforme a las características de la población, pero pueden considerarse alrededor de mil tomas por distrito, es importante que toda la red quede subdividida en distritos.

### *Tarea 3.7.2 Construcción de distritos hidrométricos*

La forma de independizar cada distrito desde el punto de vista hidráulico consiste en realizar maniobras en las válvulas de seccionamiento, que serán operadas sólo durante la fase de recuperación de agua y después pueden ser reabiertas para operación normal.

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

{ 3.3} *Pitometría, un nuevo estilo de enseñanza*, OPS-CEPIS, Pub. 95.1, Lima, Perú 1995.

{ 3.4} Enriquez S., Vázquez A. y Ochoa L., "Control de Fugas en Sistemas de distribución *Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento*; CNA, Libro II, 2da Sección, Tema IV, México 1994.



## Anexo 3.A Sectorización de redes de distribución de agua

### A.1. Introducción

Se define como red de distribución al conjunto de componentes cuyo objetivo es conducir el agua desde los puntos de producción o almacenamiento hasta los puntos de consumo: viviendas, comercios, industrias, etcétera.

Una red de distribución en un grupo complejo de componentes, tan complejo que es poco práctico dejarlos actuar sin incidir en ellos en forma sustantiva, es decir, es riesgoso dejar una red sin un gran número de controles, ya que la operación será aún más compleja y conforme más crezca más difícil será controlarla. Los componentes básicos de la red de distribución son; las tuberías, válvulas, conexiones, juntas, etc., existiendo otros elementos, que son condicionados por el criterio de cálculo y diseño, como pueden ser; tanques de almacenaje y regulación, estaciones de bombeo, criterio de regulación, etc. Son tan importantes los costes de inversión y mantenimiento relacionados con la gestión o administración de una red de distribución que estamos obligados a cuidar con suma atención las condiciones de diseño y su forma de explotación actual, para tratar de mejorar dicha gestión. En esta sección que hemos denominado sectorización, trataremos los aspectos relacionados con el trazo de la red, atendiendo a criterios operacionales, más que a los aspectos de coste mínimo. En síntesis se propone adoptar el criterio de distritos hidrométricos, extrapolado a la red de distribución.

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 componentes mencionados. Esta actividad de suyo compleja, a menudo se complica aún más, debido a que la filosofía o concepción de diseño de la red no contempló incluir facilidades, que con carácter permanente, agilicen los trabajos de operación, mantenimiento y control tales como:

- Reparación de fugas con mínima afectación a usuarios.



- Sustitución o recuperación de tramos envejecidos de la red principal, sin la interrupción del suministro a grandes áreas
- Investigaciones en la red para la elaboración de diagnósticos y para control de fugas no visibles.

Por esta causa es común encontrar enormes redes interconectadas en muchos puntos "sin control real alguno", entonces, los operadores deben manejar los elementos de control (válvulas) para distribuir el flujo con base en su experiencia, intentando establecer un control de caudales y presiones, diario y horario. Sin embargo, antes de proponer un esquema de sectorización, que modificará sustancialmente la topología de la red es preciso disponer de datos previos necesarios para efectuar un trabajo confiable, es decir que en realidad se mejore la eficiencia de operación, entre éstos podemos mencionar:

- Proyecciones de gasto actual y futuro, para los distintos usos, preferentemente con su distribución espacial.
- Presiones de suministro.
- Características de las fuentes de suministro (distribución).
- Topografía del sistema.
- Trazado de las conducciones.

Durante la fase de diseño actuaremos sobre parámetros tales como:

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

En este sentido, una de las principales acciones que puede tomarse durante el diseño de redes nuevas o rehabilitaciones de redes existentes, consiste en incidir sobre la topología del sistema, es decir dividir la red en sectores de distribución como forma de facilitar el control operacional, reduciendo los puntos de interconexión entre zonas de suministro y entre la red primaria y la secundaria.

## A. 2 Antecedentes

Los problemas operacionales en una red tienen varias raíces, entre otras se pueden mencionar:

- Falta de información, en particular datos fiables y registro de mediciones, es práctica, demasiado común, no disponer de estadísticas de operación, mucho menos si se desea tener un cierto grado de confiabilidad en la

misma. Acaso, sea factible la medición de gasto y presión de suministro, pero en general no existe una cultura de formación de bases de datos de las condiciones de operación, de los eventos de falla, de edades y estados de tuberías, registro de reparaciones y sus causas, historial de bombas, eficiencias, etcétera.

- Diseños empíricos; tradicionalmente los sistemas se han diseñado con base a la experiencia del ingeniero encargado, sin adoptar una metodología de diseño que conduzca al óptimo.
- Construcción diferente al diseño; muchas veces ocurren cambios durante la construcción de los sistemas en donde no se respeta el diseño original, resultando en un esquema diferente al contemplado en gabinete, del cual además no se elabora un plano del mismo, de tal suerte que al querer actuar sobre él para analizar y mejorar los resultados no son compatibles con la realidad.
- Incertidumbre de construcción; en toda obra hidráulica existe una incertidumbre en cuanto a la congruencia de los valores de diseño, y los reales, estadísticamente se puede comprobar desviaciones de al menos 2 a 3 % entre los valores de teóricos y los de diseño.
- Operación irregular; el sistema puede funcionar bien cuando tiene poco tiempo de uso, sin embargo, conforme transcurre el tiempo, las instalaciones envejecen, experimentando un deterioro natural, mismo que origina cambios en la red y adaptaciones en la operación. De esta forma, pasado un cierto tiempo la operación se convierte en una especie de "arte", en donde es el juicio y experiencia de los operadores lo que permite mantener el suministro en cierto nivel de fiabilidad, muy diferente a la fiabilidad de operación contemplada en el diseño original.
- Ampliaciones de la red sin diseño y/o simulación; ligado con lo anterior, son las frecuentes ampliaciones de la red, muchas de ellas debidas a compromisos no técnicos, en donde el operador solamente hereda el problema y después tiene que ingeniárselas para satisfacer las demandas, sin opción a cambios, cargando con los reclamos de la población, algunas veces en forma injusta.
- Falta de mantenimiento; las restricciones económicas constituyen otro factor que afecta la operación de la red, ya que se limita el mantenimiento de equipos con el consecuente deterioro de las instalaciones y del servicio.
- Falta de actualización del catastro; la ausencia de un levantamiento de la red también afecta a la operación, ya que al desconocerse la ubicación, tamaño y tipo de tuberías, válvulas, etc. se dificulta sobre manera cualquier análisis para una modificación de la forma de operación, revisión al diseño, ampliación, etcétera.
- Ausencia de simulaciones de funcionamiento hidráulico; en general ha faltado tener un grupo de personas dedicadas a estudiar en gabinete el funcionamiento de la red, el análisis de ampliaciones, modificaciones, etc. Efectuar esta labor facilitaría enormemente la toma de decisiones de los operadores del sistema.

- Envejecimiento de la infraestructura, conforme la red envejece es de esperarse un deterioro de la misma, que se traduce en una reducción de capacidad de conducción por el incremento del factor de pérdidas, paros continuos de los equipos de bombeo, fallo de elementos de control y tuberías, etcétera.

### A.3 Tipos de redes

El caso más frecuente en nuestros sistemas de distribución es contar con una red interconectada en muchos puntos, para cubrir la totalidad de las necesidades. Existen diferentes tipos de clasificación de una red, por ejemplo, tenemos redes ramificadas (o redes abiertas) comunes en sistemas de riego y en poblaciones pequeñas; malladas, que son las que generalmente disponen las zonas céntricas de las ciudades, en donde existe una cierta redundancia de suministro; y mixtas, comunes en las zonas límite de la ciudad, en donde algunas partes tienen redes malladas y otras redes abiertas. Existen otros tipos de clasificación como por tipo de servicio continuo o por "tandeo", por gravedad o bombeo, etc. Sin embargo, en la práctica, la traza de la ciudad es quien determina en buena medida el tipo de red y su trazo, por ejemplo; ciudades construidas en zonas montañosas como Taxco, Guanajuato y Cuernavaca, deben disponer de importantes zonas sectorizadas, obligados por la topografía de una ciudad con fuertes pendientes, los sectores se forman por la necesidad de controlar de presiones máximas, así mismo la presencia de barrancas obliga a definir sectores de suministro acotados, etc.; de hecho podemos hablar de redes alargadas, escalonadas, en anillo (por ejemplo, con el acuaférico de la CD. de México. Por ejemplo, la figura 3.A.1 muestra una red sectorizada, en ella destaca una línea principal que conecta el tanque de suministro con otro auxiliar, de regulación (suponiendo una situación ideal, muy poco común en nuestro medio), para mantener la presión en horas pico, almacenando excedentes en horas de bajo consumo. También se observan sectores conectados en uno o máximo dos puntos con la red principal y con interconexión entre ellos también en uno o dos puntos, como medida de precaución en el caso de fallos o acciones de mantenimiento. Siempre las conexiones están reguladas por una válvula de control. Otro tipo de red sectorizada, se presenta en zonas con topografía de fuerte pendiente, en este caso la sectorización es obligada para el control de presiones, ver figura 3.A.2. En cada una de ellas existe un tanque de regulación antes de entregar a la red secundaria.

### A.4. Concepción de trazo del sistema de distribución

#### A.4.1 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 preparatorio. Todos los elementos que garantizan dicha división física deberán ser revisados y eventualmente reparados, en particular las válvulas de corte.

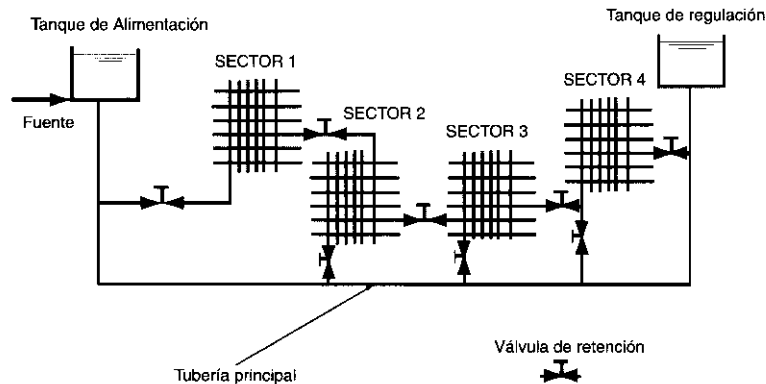


Figura 3.A.1. Red sectorizada.

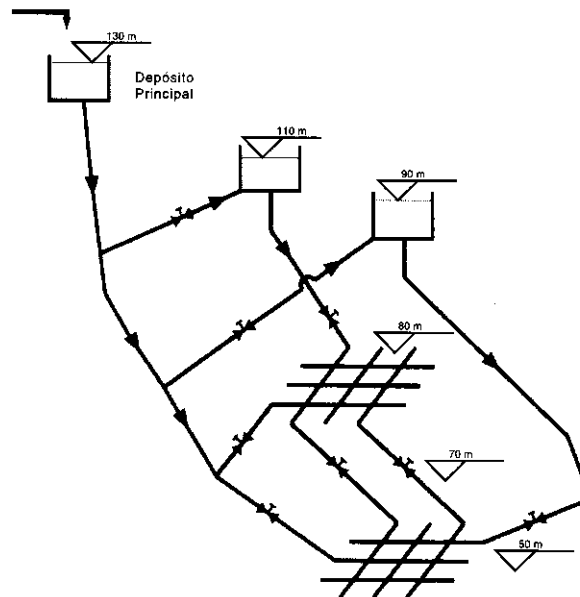


Figura 3.A.2. Red de distribución escalonada.

La concepción de la red de distribución debe buscar fundamentalmente:

- ◆ Introducir las líneas primarias por las vías principales, lo más rectas posibles, buscando las zonas de mayor demanda o de posibilidades de crecimiento.
- ◆ Preferentemente buscar líneas envolventes, de la cual partan las líneas secundarias a las distintas zonas de consumo, así se consigue un suministro alternativo, o bien sobre el centro de gravedad de los consumos.
- ◆ Trazo de redes en malla y en bloques. En el caso de quedar ramales aislados que tengan una longitud inferior a 300 m y/o abastezca a más de doscientas viviendas.
- ◆ La malla debe quedar formada por tuberías secundarias cuya separación máxima sea de 900 m máximo y mínimo de 250 m, y abasteciendo a un máximo de 1,500 viviendas y quinientas como mínimo.
- ◆ Suministrar con una presión mínima de 15 mca y máxima de 50-60 mca.
- ◆ Pérdidas de carga entre 5 mca/km en pequeños diámetros y de 2 mca/km. máximo en tuberías principales.
- ◆ Poder dividir y subdividir el sistema en partes más fácilmente controlables y que puedan en cualquier momento ser investigadas o seccionadas del abastecimiento.
- ◆ Condiciones de funcionamiento hidráulico que, aparte de garantizar las presiones máximas y mínimas recomendadas, no promuevan la mayor incidencia de fugas.
- ◆ En el caso de tener problemas de variación de presión por causa de la topografía o por la aleatoriedad de los consumos, es conveniente contemplar la utilización de válvulas reductoras de presión (VRP). La variación de presión es una de las causas principales de fugas en tomas y red, por lo tanto, su inclusión reduce la ocurrencia de fugas.
- ◆ Velocidades en la tubería de 0.6 a 2.25 m/s.
- ◆ Generar redundancia, de forma tal de tener por lo menos dos puntos de alimentación a un sitio determinado, obteniéndose mayor confiabilidad en el suministro.
- ◆ Evitar puntos ciegos, donde se formen depósitos y se presente mayor probabilidad de corrosión en los tubos por tornarse el agua más agresiva.

Para el trazo de la red secundaria existen dos alternativas:

- Trazado convencional, donde la red principal recibe conexiones domiciliarias y la red secundaria se entrelaza con ellas en todos o gran parte de los puntos de cruce.

- Trazo en bloques, donde la red secundaria se conecta con la primaria en dos puntos, con extensiones de red de 2 a 5 km. La red principal no recibe conexiones domiciliarias, y se tienen dos puntos de control en cada bloque. Las conexiones del bloque a la red principal debe hacerse, preferentemente, en tramos diferentes de la red principal.

Desde el punto de vista operacional y de control de pérdidas, el trazo en bloques ofrece mayores ventajas:

- Un natural establecimiento de distritos de investigación.
- Menor número de válvulas (registros) a instalar, operar y mantener.
- Facilidades para hacer diagnósticos de la red 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.

#### A.4.2 Sectorización de la red

El sistema debe ser concebido de modo de cubrir toda la ciudad por sectores de abastecimiento. 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 una área más pequeña del sector afectado.
- Localización exacta de la ubicación de la fuga utilizando procedimientos convencionales.

De esta manera, la sectorización 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, mejore substancialmente la gestión de explotación global de la red, optimizando las volúmenes de suministro

y presiones en cada sector, reduciendo drásticamente los costes de consumo de energía.

### A.4.3 Fases de la sectorización

En resumen, la ejecución de la sectorización se programa en las siguientes fases:

- A) Anteproyecto del sistema.
- B) Diseño e implantación de una experiencia piloto en un sector.
- C) Ampliación de la experiencia piloto a dos sectores más.
- D) Revisión del estudio de viabilidad técnico - económico a partir de los resultados reales.
- E) Extensión progresiva la resto de la red.
- F) Integración con un sistema de control operacional centralizado de la red.

La implantación de un programa piloto es de vital importancia para asegurar la viabilidad del proyecto de control de fugas mediante la sectorización. De dicha experiencia se obtiene la suficiente información para realizar:

- a) El análisis del comportamiento de los elementos de control; medidor de gasto, "data logger", válvula reguladora, manómetro.
- b) El análisis de los gastos obtenidos de la facturación, en comparación con los registrados por el medidor de flujo.
- c) La posibilidad de efectuar simulaciones de fugas reales (provocando "fugas" en puntos conocidos y comprobando si son fácilmente localizables).
- d) El análisis de rendimiento del sector
- e) El análisis de resultados globales de la experiencia.

Es deseable que el estudio piloto se realice conjuntamente con un estudio de fugas, ya que esto permite concretar los criterios básicos que han de regir la sectorización de la red y evaluar, por extrapolación, el número de sectores resultantes.

### A.4.4 Viabilidad de la sectorización de redes

Existen dos características generales de las grandes redes a tener en cuenta antes de sectorizar:

- a) Es común encontrarse desagregadas funcionalmente en pisos de presión.

- b) Suelen estar fuertemente malladas, sobre todo en las partes de la red que abastecen a las zonas más densamente pobladas de la ciudad.

Por lo tanto es necesario realizar un estudio de viabilidad, de forma tal que se asegure que los cambios provocados por la sectorización, proporcionen un servicio al menos similar al existente antes de la sectorización. Esto implica realizar comprobaciones teóricas del funcionamiento de la red sectorizada, mediante simulaciones con un modelo matemático, que debe ser calibrado, para disponer de comprobaciones reales. Además, debe efectuarse un estudio de factibilidad económica a corto y mediano plazos, que permita decidir el esquema de sectorización más rentable. En este sentido deberán estimarse los costos de:

- Elementos de control e interconexión necesarios, válvulas, cortes, etcétera.
- Obra civil derivada de las cajas de válvulas, cortes, líneas nuevas, rehabilitadas, etcétera.
- Adecuación de la red, mantenimientos, limpiezas, 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 pueden 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 inversiones son mayores, si se realiza en una sola etapa.

#### **A.4.5 Criterios básicos**

- i. Deberá tenerse en cuenta la división actual de presiones, ya que esto implica una primera sectorización, y debe partirse de ella.
- ii. A efecto de optimar la operación de la red, considerar de uno a cinco sectores por cada 100 ha, dependiendo de la densidad de líneas. En áreas densamente pobladas, cada sector puede tener entre diez y 15 ha, o bien, medida en términos de longitud de tuberías entre 5 y 10 km. En ciudades grandes, se recomienda que la extensión de la red por sector no pase de 20 kilómetros.
- iii. Previsión de alimentación para cada uno de los sectores por un único punto, eventualmente con otra de respaldo (que puede



quedar cerrada, y solo utilizarse en emergencias). Esto puede crear problemas localizados y, por tanto, en varios casos, será necesario prever una doble alimentación. Aunque se originen problemas porque será necesario incrementar el número de puntos de control, válvulas, macromedidores, que dificultan el manejo de la red.

- iv. Uniformidad de presiones en los puntos interiores en cada sector, es decir, minimizar en lo posible las variaciones de presión en el interior de los sectores. Los sectores en función de la topografía, se subdividen en zonas de presión, de forma tal que se respeten las orientaciones de las normas relativas a presiones estática máxima y dinámica mínima (si existen).

#### **A.4.6 Principales problemas en la definición de sectores**

- a) Elección adecuada de las fronteras de los sectores (tamaño del sector).
- b) Aparición de presiones bajas, en algunos puntos, lo que produce que no llegue el agua.
- c) La sectorización puede provocar que algunos tramos, los de entrada al sector, la velocidad supere el máximo recomendado de 1,5 m/s.
- d) Presiones demasiado elevadas en horas de la noche.

Las soluciones a nivel modelo son:

- a) Sectores con dos puntos de entrada.
- b) Instalar reductores de presión.
- c) Tanteo de otras fronteras.
- d) Necesidad de construcción de otras tuberías.

#### **A.4.7 La alimentación de los sectores**

De ser posible es recomendable que cuente con un tanque de regulación de los consumos, con macromedición en la llegada para permitir:

- \* Conocer el consumo del sector con fines operacionales. (por ejemplo, desviar mayor o menor cantidad de agua para el sector o definir la cantidad de agua a producir en las estaciones de potabilización).
- \* Detectar sistemáticamente los sectores más críticos a través del conocimiento de índices de pérdidas por sectores, obtenidos de la comparación de los volúmenes macromedidos, micromedidos y facturados. De esta forma, en una ciudad grande, se pueden orientar las acciones directamente a las áreas que con mayor pro-

- \* Habilidad presenten problemas de fugas.
- \* Evaluar más fácilmente los resultados de medidas que se implanten dentro de un programa de reducción de pérdidas

#### A.4.8. Alimentación de las redes dentro del sector

Habiendo dentro del sector diferentes zonas de presión, la alimentación a la red debe concebirse de forma tal de tener el mínimo posible de variaciones en el régimen de abastecimiento. Para esto se debe evitar, alimentaciones a la red por bombeo directo donde, aparte de las variaciones normales de presión consecuentes de las variaciones de consumo, se tienen pulsaciones causadas por las variaciones de presión en los arranques y paros de las bombas. La figura 3.A.3 presenta dos trazos tipo, en donde el esquema A es el trazo recomendado, si bien es cierto que el trazo B es más barato (menor longitud de tubería), a la larga los problemas operacionales y la mayor incidencia de fugas que ocasiona en las redes secundarias - fundamentalmente cerca de los cruces con líneas principales cerca de las estaciones de bombeo - redonda en mayores costos. El cuadro 3.A.1 muestra un caso de este tipo de comportamiento.

Cuadro 3.A.1 Índice medio de fallas en red de distribución para sectores abastecidos por tanque y bombas, con las mismas presiones.

Área servida por	Extensión de la red	Índice de fugas	Fallas / 100 km. / año	
			rupturas	total
Tanque	662.11	820	280	1100
Bomba (booster)	55.84	370	1420	1790

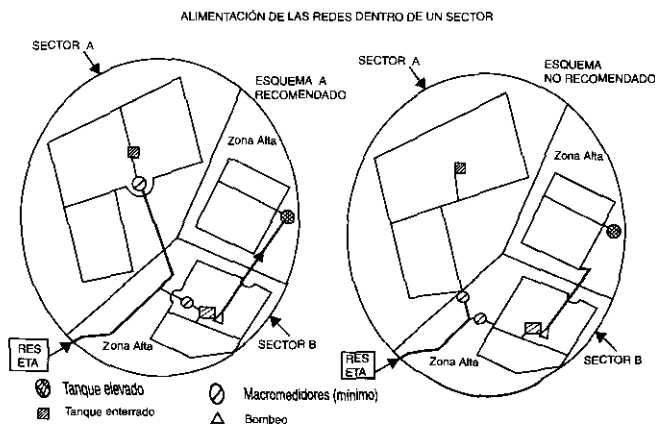


Figura. 3.A.3. Tipos de alimentación.

### A.4.9 Subdivisión de los sectores de suministro

Cuando se proyecta la red se debe tratar de que los sectores de abastecimiento o sus zonas de presión se subdividan en áreas lo más homogéneas posibles (residencial, comercial, etc.). Cada área con alrededor de 5 a 10 km de la red, preferentemente que puedan ser alimentadas por una única entrada en forma permanente o con el cierre de pocas válvulas sin mayores perjuicios al suministro. De esta forma estamos creando distritos hidrométricos, DH, donde en un único sitio para control se pueden hacer investigaciones en la red para obtener parámetros operacionales, indicadores de presencia de fugas, condiciones del abastecimiento, comportamiento de los consumos y sus variaciones por área homogénea de ocupación.

Es conveniente prever una subdivisión de los distritos hidrométricos en "distritos de investigación DI" comprendiendo extensiones de red de tres a siete km, que pueden ser seccionados por medio de válvulas. Los DI son de suma utilidad para la ejecución del programa de reducción y control de pérdidas, los ensayos de investigación para identificación de áreas menores, con mayor probabilidad de fugas no visibles, orientando al máximo los trabajos de detección directa de la red.

### A.4.10 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:
  - \* Grietas, fugas en juntas, válvulas, etc., difíciles de detectar, cuya localización y reparación no es rentable.
  - \* 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, medidores.
- Reducir el tiempo de respuesta de la reparación de fugas.

### A.4.11 Criterios para posicionamiento de los elementos de operación y control

Los elementos de operación y control básicamente son:

- los puntos de control
- los registros de seccionamiento o maniobra (caja de válvulas)
- los registros de descarga
- los hidrantes

Los puntos de control sirven para ejecutar mediciones de caudal en sitios estratégicos para obtener un adecuado control operacional de la red. Las mediciones de caudal se realizan sin interrupción del suministro y con el uso de medidores instalados temporalmente, así, tanto los aparatos como los tramos de red donde son colocados se adaptan a ello.

#### A.4.12 La ubicación de los puntos de control

Los puntos de control se deben ubicar en:

- ◆ Tuberías principales destinadas a las mediciones del sector de abastecimiento.
- ◆ En líneas principales donde se realizarán las mediciones de las zonas de presión, de los DH y DI; cuando estas subdivisiones sean alimentadas por más de una entrada, colocar el punto de control en la tubería de mayor diámetro; cuando en un crucero hay varias derivaciones para DH y DI, los puntos de control deben ubicarse en el inicio de las derivaciones.
- ◆ En las derivaciones de líneas primarias que alimentan a los bloques, dos por bloque.

#### A.5. Resumen de implantación

Las acciones de implantación consisten en:

- ◆ Recopilación de planos de la red y catastro técnico.
- ◆ Análisis de la red para definición de zonas homogéneas (considerando, por ejemplo: presión, consumos, topografía, áreas, longitudes de tubería, límites físicos).
- ◆ Trazado de sectores.
- ◆ Ubicación de zonas de seccionamiento y programa de verificación de válvulas existentes.
- ◆ Determinar líneas de alimentación, una o máximo dos, (puede quedar como respaldo ante emergencias).
- ◆ Ubicar la estación de aforo.
- ◆ Efectuar simulaciones de funcionamiento hidráulico.
- ◆ Revisión del esquema, simulando cierres de tramos para detectar puntos débiles y jerarquizar reforzamientos de la red.

- ◆ Modificar patrones de sectorización hasta obtener el más adecuado.
- ◆ Calibrar el modelo de simulación, obteniendo coeficientes de rugosidad y distribución de gastos.

## A.6. Ejemplo

Por ejemplo, en la red mostrada en la figura 3.A.4 se plantea la necesidad de establecer las siguientes acciones:

- Definición de la situación actual de la red.
- Trazado de las líneas de sectorización de la red y determinación de sus diámetros, definición de puntos de medida, inclusión de válvulas reguladoras y cálculo de niveles de presión que se pueden alcanzar.
- Delimitación de la estrategia para mejorar el rendimiento de la red aprovechando la sectorización.
- Definición de política de operación.

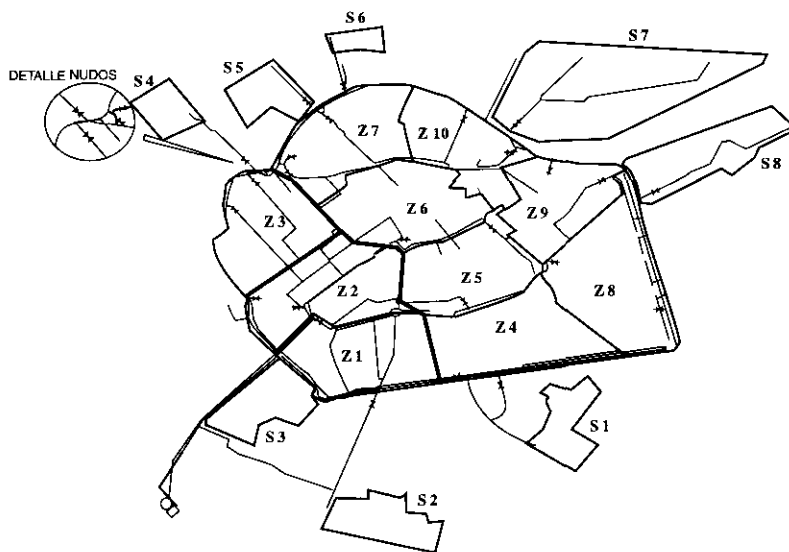


Figura. 3.A.6. Propuesta de sectorización.

Con base en los objetivos planteados, se efectuó una primera sectorización, en torno a ocho sectores, que cumplen con los siguientes criterios:

- ♣ Intentar respetar la topología de la red primaria.

- ▲ Evitar un replanteamiento de las rutas de lectura.
- ▲ El tamaño de los sectores se ha establecido en un rango que va de un 5 a 18 %, siendo la media de 12 por ciento.
- ▲ Los pequeños sectores de la red principal se han englobado en otros sectores, el peso de éstos de menos del 3 % y en conjunto del 10 % del total.

Después de varias pruebas se decidió un esquema de seis sectores y de mayor tamaño, 13 % del total, como se muestra en el cuadro 3.A.2.

Cuadro 3.A.2. Esquema de sectores.

Número	Población	% Pob.	Qmedio (l/s)	% / Qt
1	12.983	15.5	32.96	15.3
2	15835	18.8	38.43	17.3
3	14756	17.56	41.80	19.4
4	13278	15.8	28.00	13.0
5	12287	14.6	33.71	15.6
6	14881	17.84	41.1	19.3
Total	84020	100	216.0	100

## REFERENCIAS

{1} Tzachkov V., *Manual de usuario del simulador hidráulico de redes AH206*, IMTA-CNA, México, 1994.

{2} Enriquez S., Vázquez A. y Ochoa L., "Control de fugas en sistemas de distribución", *Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento*, CNA, Libro II, 2ª sección, tema IV, México, 1994.

{3} Gasulla V. et al., "Aplicación y utilización de modelos", Capítulo 17, Libro de *Ingeniería hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de Agua*, editado por la UPV, Valencia, España, 1996.



## Anexo 3.B Proyectos de redes de agua potable para la reducción integral de fugas

Con el paso de los años, se está tratando de aplicar con mayor frecuencia la técnica de distritos hidrométricos, DH, en los sistemas de distribución de agua potable.

Por definición, los DH son zonas que pueden aislarse hidráulicamente de la red de distribución con movimientos de válvulas y que pueden utilizarse para precisar el diagnóstico de fugas, detectar fugas, o facilitar su reducción en una localidad (Hueb, 1985) (figura 3.B.1).

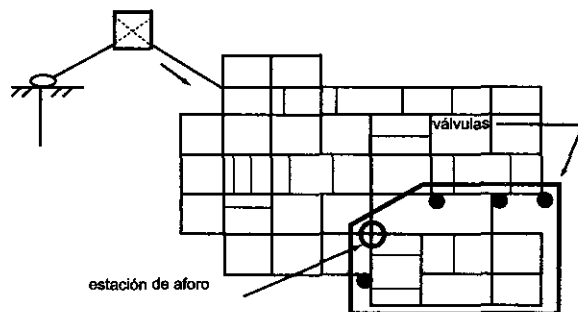


Figura 3.B.1. Distrito hidrométrico tipo.

En los sistemas de agua potable la mayoría de las redes de distribución están diseñadas y construidas con un trazo que prácticamente no permiten a los operadores aplicar la técnica de distritos hidrométricos, debido a que se requieren movimientos de válvulas que se encuentran en mal estado y que deben ser reparadas para su utilización, en otras ocasiones se obliga a instalar nuevas válvulas costosas, y en el peor de los casos, los aislamientos hidráulicos pueden alterar el funcionamiento normal del sistema con la consecuente molestia a los usuarios por la disminución de cargas piezométricas o por la escasez del suministro. Por ello, es necesario que en los proyectos de agua potable nuevos, de ampliación o de rehabilitación, se integren los distritos hidrométricos desde su planeación y diseño, para considerar la colocación de válvulas, la simulación hidráulica de los aislamientos, prever estaciones de aforo y controles para la recuperación de agua durante la operación y el mantenimiento de la red de distribución. Este planteamiento de distritos integrados cambia radicalmente el concepto de planeación y diseño de las redes de distribución de agua potable que se ha seguido hasta ahora y los ingenieros que se encar-



gan de los proyectos tendrán que concebir sus diseños con este nuevo enfoque, para mejorar la operación y el mantenimiento de dichas redes.

## B.1 Criterios de diseño y planeación de redes con distritos integrados

En general, las redes de distribución de agua potable pueden ser clasificadas atendiendo a la función que realizan, de la manera siguiente (Velitchko e Izurieta, 1994):

- **Red primaria.**- Usada para conducir el agua por medio de líneas troncales o principales y alimentar a las redes secundarias. Su diámetro mínimo es de 100 mm, sin embargo, en colonias urbanas populares se acepta 75 mm y en zonas rurales hasta 50 mm. Normalmente, la simulación hidráulica de la red se realiza considerando circuitos cerrados, que se forman con las tuberías de la red primaria en los nodos de dichos circuitos se concentran los consumos tributarios correspondientes.
- **Red secundaria.**- Es la parte de la red de distribución que forma la estructura básica del sistema y distribuye el agua propiamente hacia las conexiones domiciliarias. En la simulación hidráulica estas tuberías no se consideran. En términos de su trazo, la red secundaria puede ser:
  - a) **Red secundaria convencional.**- En este tipo de red los conductos se unen a la red primaria, y entre sí en cada cruce de calle; es decir, funciona como una red en forma de malla (ver figura 3.B.2). Se instalan válvulas de seccionamiento tanto en las conexiones con la red primaria como en los cruceros de la secundaria.

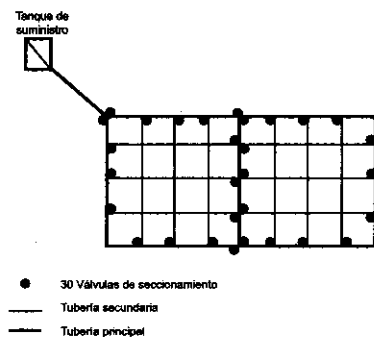


Figura 3.B.2. Red secundaria convencional.

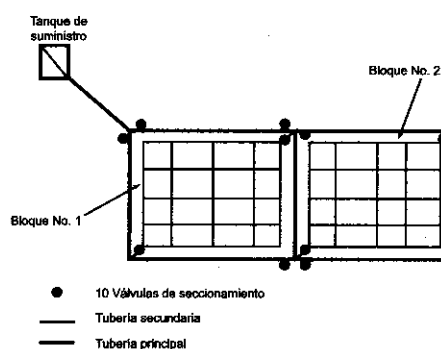


Figura 3.B.3. Red secundaria en bloques.

- b) *Red secundaria en bloques.* - Las tuberías secundarias forman bloques que se conectan con la red primaria en dos puntos. La red principal no recibe conexiones domiciliarias (figura 3.B.3).

Como puede notarse el concepto de bloques es equivalente al de distritos hidrométricos, por lo que al diseñar la red secundaria con bloques y en dos planos, automáticamente se estará integrando los distritos desde el proyecto. Así, se recomienda diseñar la red con bloques.

## B.2 Aplicación del diseño de la red con bloques integrados en dos ciudades

Con el objeto de ejemplificar el planteamiento propuesto a lo largo de este trabajo, se citan dos casos que se han llevado a cabo en la república mexicana.

### CASO 1. Progreso, Yucatán (sector Poniente)

La elaboración del proyecto fue realizada debido a que los niveles de fugas alcanzan valores del orden del 40% respecto del caudal suministrado al sector (CNA-PSYCSA, 1998). El periodo de diseño fue considerado hasta el año 2016, con un gasto máximo horario de 141 l/s. En las figuras 3.B.4 y 3.B.5 se muestran los croquis del proyecto de la red primaria y la que integra a los bloques, respectivamente. Se determinó que la zona poniente de la red estuviera sectorizada y aislada del resto de la red de la ciudad, con el propósito de posibilitar el control de pérdidas de agua en el futuro. Se utilizaron completamente las tuberías existentes y se dejaron solo dos entradas al sector para el suministro de agua con el fin de poder abastecer alternativamente al sector en caso de alguna falla del sistema.

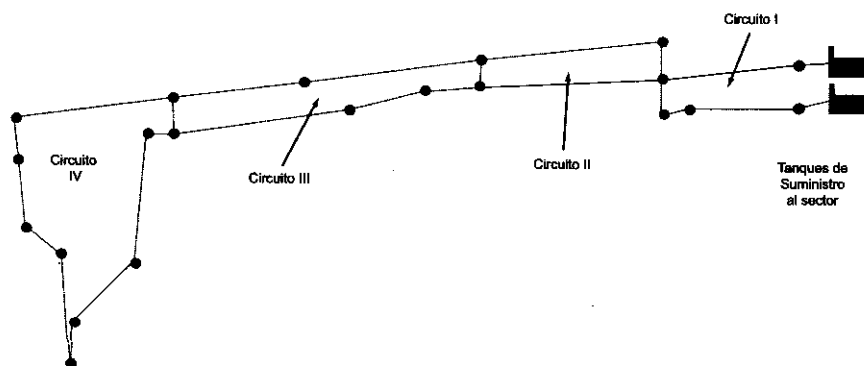


Figura 3.B.4. Circuito principal de la red del sector Poniente de Progreso, Yucatán.

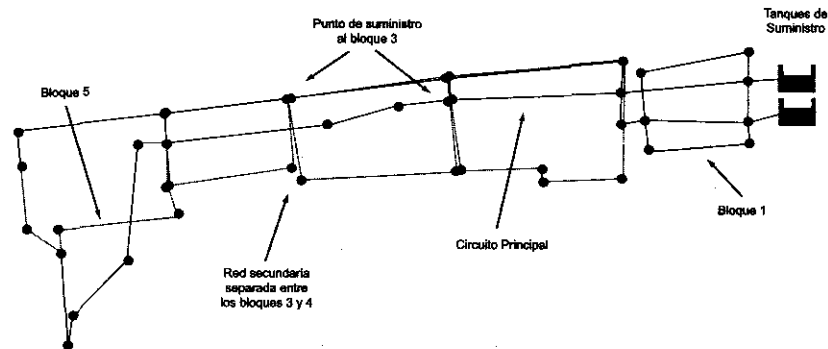


Figura 3.B.5. Proyecto de la red del sector poniente de la red de Progreso, Yucatán.

Se definieron cinco bloques de abastecimiento, conectados todos ellos a las tuberías del circuito principal en dos puntos también con el mismo propósito que el del inciso anterior. En general los bloques forman circuitos con tuberías de 4" y 3" de diámetro, y al igual que los circuitos principales han sido trazados aprovechando completamente la tubería existente en el sector; todos los bloques deberán aislarse unos de otros mediante desconexiones de tuberías. Las tuberías secundarias internas en los bloques, prácticamente se encuentran localizadas en dos planos y constan en su totalidad de tuberías de 2" de diámetro, con lo cual se disminuyó notablemente el número de cruceros de la red secundaria. El número de válvulas se redujo notablemente, puesto que solamente se han colocado dos válvulas por cada bloque, dado que es suficiente para que dicho elemento y sus tuberías secundarias queden aislados durante alguna reparación o medición global de consumos para estudiar el nivel de pérdidas de agua en cada bloque; dentro de los bloques no hay ninguna caja de válvulas. Las tomas domiciliarias se desconectarán de las tuberías principales y deberán instalarse directamente sobre la tubería secundaria o la de los bloques, para ello será necesario hacer una rehabilitación en los tramos en donde actualmente se encuentran localizadas dichas tomas domiciliarias.

El análisis hidráulico de la red se realizó mediante un modelo matemático tipo estático, que se encuentra en el programa de computadora *EPANET* (versión 1.1.c). El modelo se formó con un total de 57 nodos y 69 tramos, o sea, 22 nodos y 24 tramos para la red principal, y 35 nodos y 45 tramos para la red de los bloques. La simulación se realizó integralmente entre bloques y circuitos principales, con el fin de determinar los diámetros de las conexiones entre los mismos.

Cabe notar que, actualmente está en construcción esta red del sector poniente de Progreso con base en el proyecto mencionado.

## CASO 2. Ciudad Reynosa, Tamaulipas (sector Granjas)

De acuerdo al plan maestro del Sistema de Agua Potable de la ciudad de Reynosa, el horizonte de diseño es el año 2016 y se deberá satisfacer a 70,000 habitantes que demandarán un gasto medio de 267.7 l/s y un gasto máximo horario de 597.51 litros por segundo.

El sector Granjas es uno de los cinco sectores de la ciudad que actualmente ya se encuentran aislados, lo que facilita los programas de reducción de pérdidas de agua. La red del sector granjas se diseñó con el criterio de nueve circuitos principales, para formar zonas de suministro redundantes dentro de la red de distribución (IMTA-NADBANK, 1988). La red secundaria se proyectó separada de dichos circuitos formando diez bloques aislados. La simulación hidráulica se efectuó con el programa *EPANET*. En las figuras 3.B.6 y 3.B.7 se presentan los planos de la red principal de distribución del sector granjas y el trazo de los bloques de la tubería secundaria integrados, respectivamente.

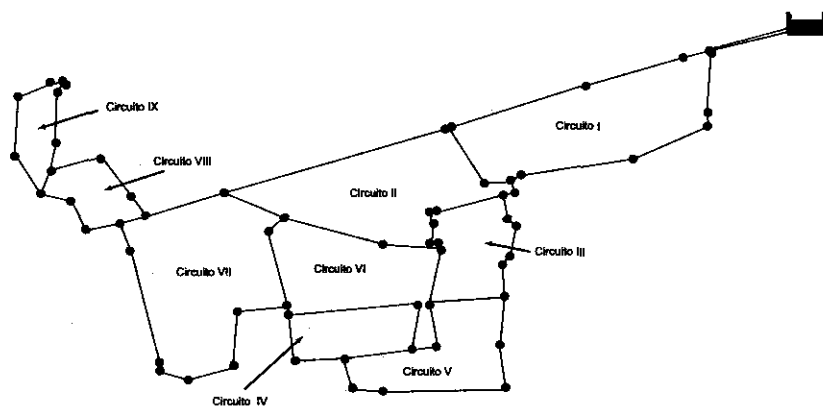


Figura 3.B.6. Circuitos principales de la red del sector Granjas, Reynosa, Tam.

### A.3 ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO EN EL CONTROL DE FUGAS

Con el fin de probar la bondad de los diseños presentados, se hizo un análisis del funcionamiento hidráulico de cada una de las dos redes presentadas, evaluando su eficacia en labores de reducción de fugas de agua potable. Se muestra aquí el resultado de la red de Progreso, Yucatán.

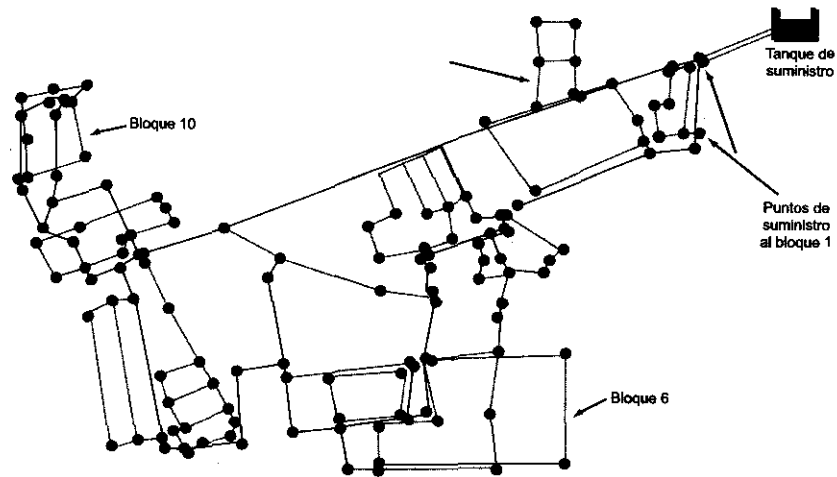


Figura 3.B.7. Proyecto de red del sector Granjas con bloques integrados.

Una vez que sea construido el proyecto de la red, con el paso del tiempo las tuberías se deteriorarán paulatinamente y ocurrirán fugas de agua. En este momento será necesario realizar labores de mantenimiento para reducir dichas fugas. Entonces deberán efectuar una serie de mediciones en cada DH o bloque, para lo cual será necesario colocar a la entrada una estación de aforo de caudales y realizar las actividades de campo siguientes:

- a) Delimitación del DH.- Antes de realizar la medición, se hace un cierre del DH con la válvula de seccionamiento de la entrada, para comprobar que existen buenas condiciones de presión fuera de él y que efectivamente ha quedado aislado del resto de la red de distribución. Se registran las presiones dentro y fuera del distrito en las llaves de jardín de las casas y en el medidor de caudal; en caso de registrar presiones inferiores a  $1.5 \text{ kg/cm}^2$  fuera del DH cuando está aislado, será necesario inspeccionar la causa y corregir. Por su parte, las presiones dentro del DH deberán bajar a cero si la topografía es plana, o bien estarán en función de las elevaciones del terreno correspondientes.

En el caso del proyecto de la red de Progreso, se realizó una simulación hidráulica para determinar el comportamiento de las presiones dentro y fuera de los bloques cuando cualquiera de ellos queda aislado del resto de la red. Los resultados se presentan en las figuras 3.B.8 y 3.B.9.

Se observa que, no obstante que el bloque 1 está aislado al cerrar las dos válvulas de las conexiones con las tuberías del circuito principal, los bloques 2, 3, 4 y 5 no se ven afectados en las cargas piezométricas, por

lo que el bloque podrá aislarse sin ningún problema. Cabe notar que este resultado es producto del arreglo en bloques o DH que se le ha dado a la red secundaria.

- b) Medición global del consumo.- Después del aislamiento, se procede a realizar la medición del caudal que entra durante 24 horas continuas. Al inicio y al final de este periodo deben registrarse las lecturas de todos los micromedidores de los consumidores mayores (industrias, comercios y hoteles).

A partir de los datos obtenidos en una medición global (curva de consumo dentro del DH en un día), es posible calcular los consumos y varios indicadores, de entre los cuales resalta el índice de Consumo Mínimo Nocturno Doméstico (Iconod).

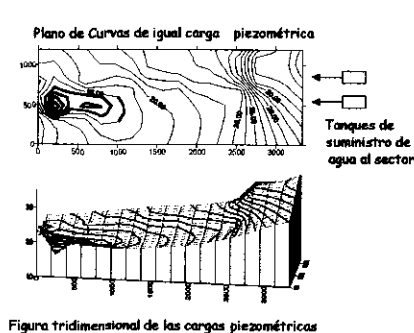


Figura tridimensional de las cargas piezométricas

Figura 3.B.8. Topología de presiones con todos los bloques abiertos.

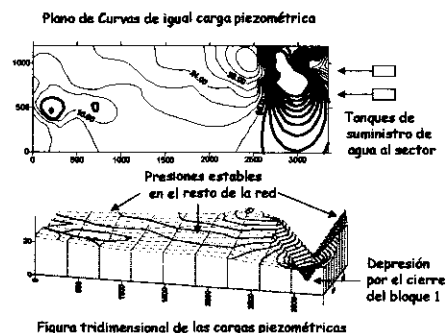


Figura tridimensional de las cargas piezométricas

Figura 3.B.9. Topología de presiones con el bloque número 1 aislado de la red.

- c) Reparación de fugas.- Una vez que se han identificado niveles altos de fugas en uno o varios DH, se procede a realizar las reparaciones de las fallas de las tuberías, localizadas mediante equipos electroacústicos, con el fin de reducir el escape de agua por ellas y obtener beneficios económicos y sociales.

Ahora bien, en los diseños de la red de Progreso y Reynosa cada bloque de la red secundaria funcionará hidráulicamente en forma individual, así al disminuir las fugas de agua potable en alguno de ellos, la reducción de la demanda tributaria se reflejará inmediatamente en el punto de abastecimiento a toda la red, lográndose así un proceso de reducción de fugas modular en el tiempo y por ende en las inversiones y beneficios del sistema de agua potable.

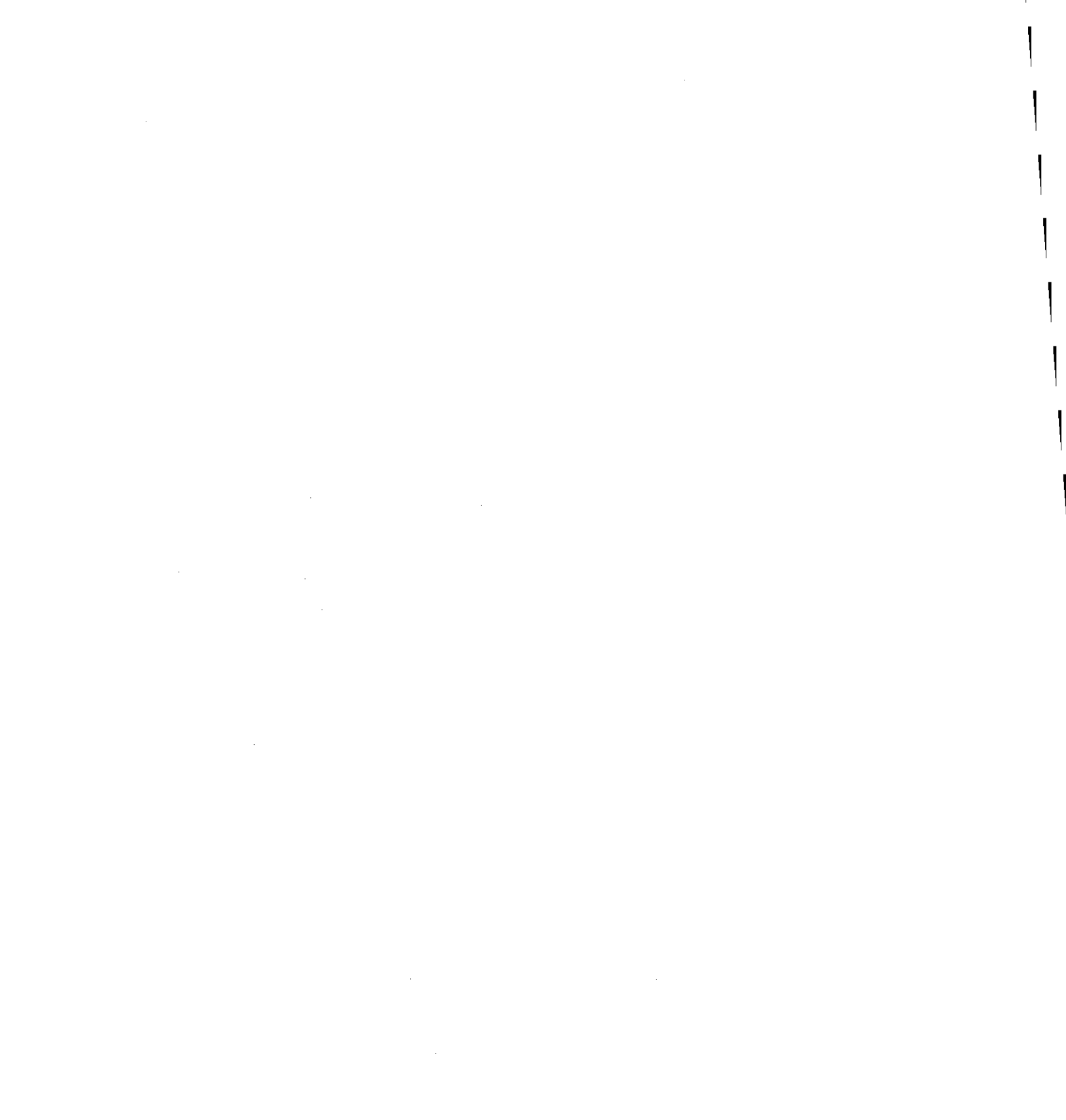
## Bibliografía

- Hueb, J. A., "Control de fugas en los sistemas de distribución de agua potable" *Programa de protección de la salud ambiental HPE*, Perú, BID, 1985.
- Velitchko T. e Izurieta J., "Redes de distribución", *Manual de diseño de agua potable*, libro II, 1ra sección, tema 4, CNA-IMTA, México 1994.
- CNA-PSYCSA, *Proyecto de la red de distribución del sector poniente de la ciudad de Progreso, Yucatán*, Gerencia Regional de la Península, Mérida Yucatán, Comisión Nacional del Agua., 1998.
- *EPANET*, Drinking Water Research Division, Risk Reduction Engineering Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 42260.
- IMTA-NADBANK, *Localización y recuperación de pérdidas en el sector Granjas del sistema de agua potable de Reynosa, Tamaulipas*, Coordinación de Hidráulica, Jiutepec, Morelos, México, 1998.

## **Parte III**

### **Eliminación de pérdidas de agua**





## Capítulo 4 Detección, localización y reparación de fugas

Leonel H. Ochoa Alejo y  
J. Manuel Rodríguez Varela

### 4.1 Técnicas de detección de fugas

Usualmente, cuando uno piensa en detección de fugas, se relaciona inmediatamente con equipos electrónicos. Esta es la forma de detección con más acercamiento a la fuga (escuchada por el operador). Pero hay otros métodos de detección de fugas, que incluyen a la medición en distritos hidrométricos, DH, y al balance del agua. Más que puntualizar el lugar de la fuga, estos métodos indican si hay existencia de fugas y dan una idea global de dónde pueden estar las fugas. Otra manera más de detección de fugas es a través de observaciones de presiones en la red de tuberías y trazadores. Finalmente, hay una forma adicional, aunque no necesariamente es un método, ya que se trata de localización accidental de fugas durante los trabajos rutinarios de operación y mantenimiento, o bien reportes de los usuarios.

#### 4.1.1 *Por balance de agua*

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

#### 4.1.2 *Por medición en distritos hidrométricos*

Este método puede ser utilizado como una extensión del balance del agua o, en algunos casos, como un método de detección de fugas. Su propósito es determinar si un sector o zona del sistema de agua tiene grandes cantidades de fugas. Para aplicar efectivamente este método, se deben disponer de mapas de la red suficientemente actualizados, tener válvulas ubicadas en los puntos de control y proporcionar una toma para la válvula de inserción del equipo de medición. La técnica de distritos

hidrométricos, DH, consiste básicamente en aislar sectores de la red, donde se realizan mediciones de los volúmenes abastecido y consumido por los usuarios en cada sector, durante un periodo de 24 horas como mínimo.

Con los datos obtenidos en una medición global (curva de consumo dentro del DH) en un día, figura 4.1, es posible calcular los consumos e índices siguientes:

- CT = Consumo total en 24 horas, en m<sup>3</sup>/día (área bajo la curva de consumo)
- CHP = Consumo horario promedio, en m<sup>3</sup>/h, ecuación 4.1
- CHM = Consumo horario máximo, en m<sup>3</sup>/h (área máxima bajo la curva de consumo para un intervalo de una hora)
- CMN = Consumo mínimo nocturno, en m<sup>3</sup>/h (área mínima bajo la curva de consumo para un intervalo de una hora entre las 0:00 y 5:00 h del día)
- ICHM = Índice de consumo horario máximo, ecuación 4.2
- ICMN = Índice de consumo mínimo nocturno, ecuación 4.3
- CEP = Consumo específico promedio, en l/s/km, ecuación 4.4

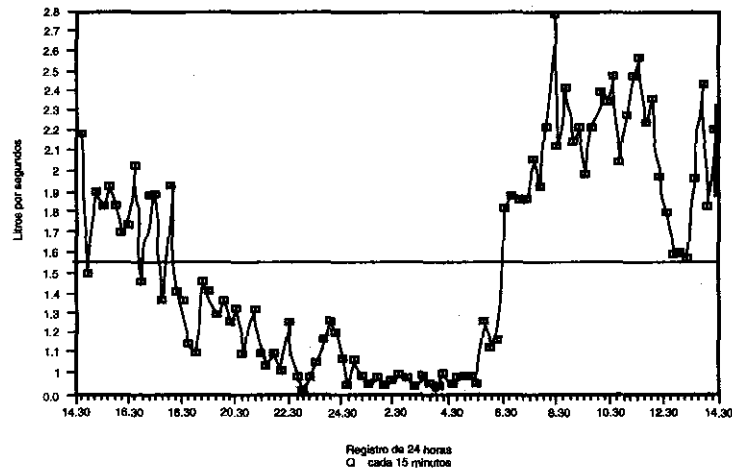


Figura 4.1. Medición global de consumo en un distrito hidrométrico.

$$CHP = \frac{CT}{24 \text{ horas}} \quad (4.1)$$

$$ICHM = \frac{CHM}{CHP} \quad (4.2)$$

$$ICMN = \frac{CMN}{CHP} \quad (4.3)$$

$$CEP = \frac{CHP}{3.6L} \quad (4.4)$$

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

En sectores con buen mantenimiento y bajo nivel de fugas, el valor de la relación CHM/CMN varía entre 12 y 15. Al analizar la relación entre el CEP y el consumo per cápita promedio diario, es posible observar la densidad de tomas domiciliarias en el DH, así como el patrón socioeconómico de los usuarios. Si el área en estudio es residencial solamente, y no se registraron irregularidades importantes en el abastecimiento, el Índice de Consumo Mínimo Nocturno indica la intensidad de las fugas en el DH; pero si existen grandes consumidores en el DH, también se calcula el índice de Consumo Nocturno Doméstico, Iconod con la ecuación 4.5.

$$ICONOD = \left[ \frac{(CMN - cmn)}{(CHP - chp)} \right] \times 100 \quad (4.5)$$

Donde:

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

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

Este índice, Iconod, sirve para eliminar la influencia de los grandes consumidores en el ICMN, y considerar al primero como índice de fugas más fidedigno en este caso. Si se ha decidido investigar más a fondo el problema de fugas, se procede a hacer una subdivisión nocturna, que consiste en aislar segmentos de la red, dentro del DH, que permitan medir el consumo mínimo nocturno en cada uno de esos segmentos y ubicar así, con más precisión, los niveles de fugas. El periodo nocturno se refiere al intervalo entre las 0:00 y 5:00 h del día, y se le asigna «noche» como unidad de medida. Para analizar los resultados de mediciones entre segmentos de la subdivisión nocturna del DH, se define el siguiente parámetro de comparación, ecuación 4.6.

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

$$CEL = \frac{ExCMN}{L} \quad (4.6)$$

donde:

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

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

E = Porcentaje esperado de entrega a los usuarios, ecuación 4.7.

$$E = \frac{(CMN - p)}{CMN} \quad (4.7)$$

donde:

p = Es la pérdida de agua por fugas, estimada previamente, en m<sup>3</sup>/noche.

En redes donde no hay almacenamiento domiciliario, se puede tomar E = 0.70 para iniciar el estudio, ajustando este valor posteriormente, con la información obtenida. El consumo específico nocturno de cada segmento, CEN, se calcula con la ecuación 4.8.

$$CEN = \frac{CN}{l} \quad (4.8)$$

donde:

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

l = longitud del segmento, en m.

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

A modo de ejemplo, se seleccionó un distrito hidrométrico para hacer la evaluación de fugas en tuberías principales, con las siguientes características: La red está compuesta de 12 tramos principales (figura 4.2), su longitud y diámetro se presentan en el cuadro 4.1. Dentro del distrito no se tienen grandes consumidores (industrias, lavanderías, etc.), por lo que se puede considerar un consumo netamente residencial.

Cuadro 4.1. Datos de la red de distribución.

Tramos	Diámetro (mm)	Longitud (m)
1	150	600
2	150	150
3	100	700
4	100	500
5	100	700
6	100	500
7	150	150
8	100	700
9	100	300
10	100	500
11	100	700
12	100	500
<b>Total</b>		<b>6000</b>

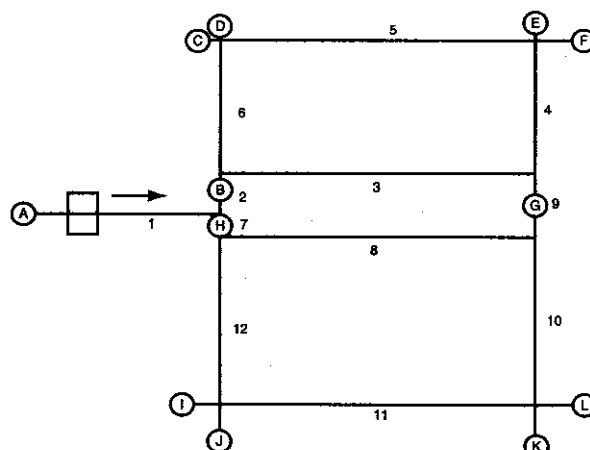


Figura 4.2. Distrito hidrométrico.

La medición del consumo global del distrito hidrométrico se hizo en la estación hidrométrica localizada cerca de la válvula A. Ésta se llevó a cabo por un periodo de 24 horas continuas, los caudales y presiones se anotaron en el formato que se muestra en el cuadro 4.2.

Con los valores de la medición global se calculan los índices de consumo:

- Consumo promedio horario = CPH = 77.2 (l/s).
- Consumo máximo horario = CMH = 90.0 (l/s).
- Consumo mínimo nocturno = CMN = 60.0 (l/s).
- Índice de consumo máximo horario = ICMH =  $CMH/CPH = 90/(77.2) = 1.17$ .
- Índice de consumo mínimo nocturno = ICMN =  $CMN/CPH = (60)/77.2 = 0.78$ .

Cuadro 4.2. Formato de registro de caudales globales al distrito.

Ciudad: Distrito hidrométrico: Diámetro de línea de inyección		Fecha Estación hidrométrica: Responsable:
hora	Consumo (l/s)	presión interna (mca)
0:00	61.0	43.0
1:00	60.0	43.5
2:00	60.0	43.5
3:00	60.0	43.5
4:00	60.0	43.5
5:00	65.0	43.5
6:00	76.0	39.0
7:00	82.5	35.5
8:00	87.0	34.0
9:00	89.0	32.0
10:00	90.0	31.5
11:00	89.0	31.5
12:00	88.5	31.0
13:00	89.0	31.0
14:00	90.0	31.5
15:00	90.0	31.5
16:00	89.0	31.0
17:00	86.0	32.0
18:00	82.5	32.5
19:00	78.0	33.5
20:00	76.5	33.5
21:00	72.5	35.0
22:00	68.5	38.0
23:00	63.0	41.0
<b>Consumo máximo y presión mínima</b>	<b>90.0</b>	<b>31.0</b>
<b>Consumo mínimo y presión máxima</b>	<b>60.0</b>	<b>43.5</b>
<b>Consumo y presión promedios</b>	<b>77.2</b>	<b>36.1</b>

Como no se tienen grandes consumidores, en lugar de calcular el Iconod se calculó el ICMN que da un valor de 0.78 o 78 % que es mayor del 20 %, por lo tanto existe la sospecha de que en el distrito hay fugas, o consumidores clandestinos.

Ahora se procede a calcular el consumo específico promedio. La longitud de la red es de seis kilómetros.

- Consumo específico promedio = CEP = CPH/(3.6L) = 77.2/(3.6\*6) = 3.57 (l/s/km)

Como se puede observar el índice de Consumo Mínimo Nocturno y el Consumo Específico Promedio son muy altos para un área residencial, lo que indica que en el distrito existe la posibilidad de fugas en las tuberías principales; por ello enseguida se procede con una subdivisión nocturna. Las figuras 4.3 y 4.4, ilustran el proceso de subdivisión nocturna, como primer paso se subdividió el distrito hidrométrico en dos zonas y se aisló la zona I cerrando las válvulas G, H, I, J, K, L.

Una vez cerrada las válvulas se midió el caudal de entrada a la zona I. Posteriormente se cerraron las válvulas B, C, D, E, F, G, esto con la finalidad de medir el caudal de entrada a la zona II. El datos de los gastos de entrada a cada una de las zonas se registraron en el formato del cuadro 4.3. El Consumo Mínimo Específico Límite Nocturno, CEL se calcula de la siguiente manera: el consumo mínimo nocturno es de 60 l/s o 5184 m<sup>3</sup>/día, las pérdidas P se consideran de un 25 % del consumo mínimo nocturno por lo que el valor de P será de .25\*5,184 = 1,269 así el valor de E es:

$$E = \frac{(5,184 - 1,269)}{5,184} 100 = 75$$

$$CEL = \frac{75(5,184)}{100(6,000)} = 0.648$$

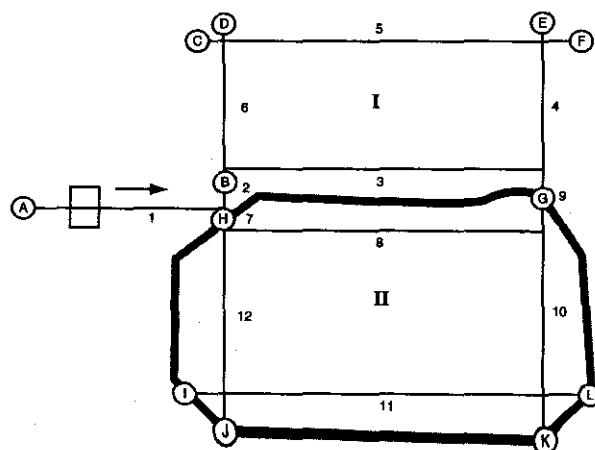


Figura 4.3. Medición del consumo nocturno en la zona I.



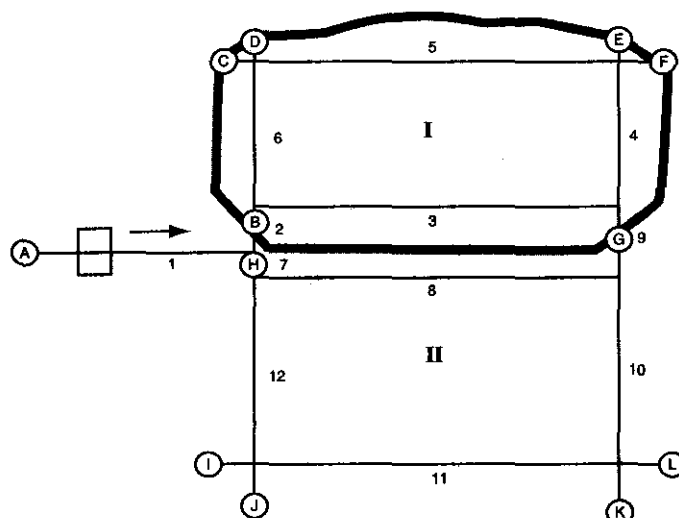


Figura 4.4. Medición del consumo nocturno en la zona II.

Cuadro 4.3. Formato de registro de los caudales para las subdivisión nocturna.

Tramo Zona I	Diámetro (mm)	Longitud (m)	Consumo de la zona (m <sup>3</sup> /d)	Consumo específico nocturno C <sub>e</sub> (m <sup>3</sup> /d/a/m)
1	150	600		
2	150	150		
3	100	700		
4	100	500		
5	100	700		
6	100	500		
Suma		3150	100	0.03174603
Tramo Zona II				
7	150	150		
8	100	700		
9	100	300		
10	100	500		
11	100	700		
12	100	500		
Suma		2850	2000	0.70175439

El consumo específico es la relación entre el consumo y la longitud de los tramos de cada zona. Una vez que se aisló cada una de las zonas se mide el consumo que entra a cada una de ellas. Para determinar si en alguna de

las zonas se presentan fugas basta comparar el consumo específico contra el consumo mínimo específico límite nocturno  $CEL = 0.648$ . Como el consumo específico nocturno CE de la zona II es mayor que el CEL entonces en dicha zona se presentan fugas en las líneas principales.

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

- a) Detección, localización y reparación de fugas no-visibles, económicamente detectables.
- b) Identificación y reparación de fugas visibles.
- c) Localización de conexiones clandestinas.
- d) Incremento de la confiabilidad del catastro de la red.
- e) Sectorización de pequeños tramos de la red.
- f) Mejoramiento de la operación integral de la red.
- g) Revisión y mantenimiento de las válvulas de seccionamiento.
- h) Determinación de dotaciones y consumos.

La aplicación de los trabajos de recuperación de pérdidas de agua, entre ellas las fugas, debe realizarse en forma sistemática, programada y consistente con beneficios y costos. Surge entonces la pregunta ¿Con cuál distrito hidrométrico debo iniciar la reducción de pérdidas? ¿Dónde obtendremos los beneficios más altos y en el menor tiempo? Al respecto, se pueden jerarquizar los distritos a través de indicadores como se muestra en el siguiente método:

Este método se basa en establecer los elementos que tienen relación con las fugas, fijando para los indicadores que asociados a un factor, reflejan la prioridad del sector. La eficiencia de este método depende de la correcta valoración de los indicadores.

A continuación se presentan los indicadores que se pueden seleccionar. De manera general, estos indicadores pueden ser suficientes, sin embargo, en algunos casos pueden ser necesarios indicadores adicionales; a continuación se describen éstos:

\* Volumen facturado/volumen suministrado (%) Ka

Se define como el cociente entre el volumen facturado y el volumen suministrado al sector. Este indicador permite hacer una evaluación tanto técnica como financiera y puede reflejarse en una determinada situación social del sector. De forma sucinta, mide la situación del sistema comercial. Puede ser indicativo de la mala comercialización de los servicios, ya sea por la falta de una agresividad del mercado,

un mal catastro de usuarios, un sistema tarifario inadecuado o un alto porcentaje de fugas. Muchas veces en sectores muy grandes resulta difícil la determinación del volumen facturado, principalmente si el organismo no cuenta con un buen sistema de cómputo.

\* Indicador Kb en porcentaje  $(Q_{mn}-Q_i) / Q_{med}$

El cociente entre el caudal mínimo nocturno ( $Q_{mn}$ ) menos el consumo industrial y el caudal medio diario ( $Q_{med}$ ) expresado en porcentaje refleja en forma clara y objetiva la situación del sistema de distribución (red y conexiones). Un valor elevado de este cociente puede representar un alto grado de fugas. Asimismo, se puede establecer como un buen cociente un valor cercano al 20%, suponiendo que la diferencia sea debida a la existencia de fugas de agua en el sistema. Este valor es calculado con datos de mediciones nocturnas, debido a que las presiones y las pérdidas por fugas son mayores. El valor de estos indicadores reflejan indirectamente la situación de la red de distribución con relación al material, años de uso y presión a la que están sometidas las tuberías del sistema.

\* Grado de medición Kc en (%)

Los bajos índices de medición normalmente reflejan un alto grado de fugas y un uso no racional del agua por parte de los usuarios, esto se observa en los altos consumos per cápita.

\* Valor facturado del sector/valor facturado total (%) Kd

Los valores ya descritos se refieren a los elementos técnicos, con excepción del que aporta ingresos financieros al sector. El elemento que ahora se define permite una comparación del valor de la facturación del sector, con la facturación total del sistema. Permite percibir en forma global, los beneficios financieros inmediatos resultantes del desarrollo de un plan de control de fugas, tiene un peso realmente significativo. En algunas localidades puede tener un valor desde 20 hasta 25% de la facturación total, debido a edificios habitacionales y de economías tipo comercial cuya tarifa puede ser significativamente superior a la residencial.

\* Consumo per cápita residencial (l/hab/día) Ke

Una evaluación del consumo per cápita residencial con las características socio-económicas de un sector puede reflejar la posibilidad de ocurrencia de fugas en las instalaciones prediales y residenciales. Para

la valoración de este elemento, es necesario conocer el consumo per cápita del proyecto, a fin de que se realice un análisis y luego su correcta valoración.

\* Índice de cobertura (%)  $K_f$

Se define como el porcentaje de predios abastecidos en relación a los predios existentes en el sector. Un índice de baja cobertura, puede ser indicativo de la existencia de conexiones clandestinas, este indicador sólo se puede obtener cuando se cuenta con un buen catastro de usuarios integrado al catastro de la red de distribución.

A continuación se presenta una propuesta para la valoración de los indicadores que definen las prioridades.

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

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

El procedimiento antes descrito se aplica de la siguiente manera: se establecen zonas clasificadas en igual número para todos los indicadores, siendo corregido cada uno de ellos por un coeficiente que refleje su valor ponderado. Este coeficiente es establecido en función del estudio de casos típicos a fin de que se determinen sus influencias en el total (cuadro 4.4). Es expresado en fracción decimal cuya suma total debe ser igual a 1.0 (ecuación 4.9).

$$\sum_1^n C_n = 1.0 \quad 4.9$$

que integra la expresión:

$$C_1K_a + C_2K_b + \dots C_nK_i \quad 4.10$$

Y los sectores prioritarios se definen en función de la aplicación de todos los indicadores, según su calificación (cuadro 4.5). Se entiende que el

Cuadro 4.4. Indicadores clasificados.

Indicadores	(%)	(%)	(%)	(%)	Lts/hab/día	(%)
----- -----	Ka	Kb	Kc	Kd	Ke	Kf
Clasificación						
1	> 80	< 20	> 80	> 20	< 100	> 80
2	70-80	20-40	60-80	15-20	100-200	70-80
3	60-70	40-60	40-60	10-15	200-300	60-70
4	50-60	60-80	30-40	5-10	300-400	50-60
5	< 50	> 80	< 30	< 5	> 400	< 50
valores ponderación	C1	C2	C3	C4	C5	C6
El procedimiento $\delta c = 1$	0.25	0.30	0.10	0.15	0.10	0.10

valor óptimo es característico de cada localidad y que su correcta definición exige estudios que cubran los aspectos económicos, financieros y técnicos. También se puede obtener ese indicador por extrapolación de otra localidad semejante.

Cuadro 4.5. Cuadro analítico de clasificación de sectores prioritarios.

SECTOR	Ka = CALIF. x C1		Kb = CALIFC. x C2		N = 1 SUM Kn N = a	ORDEN DE PRIORIDAD
	CALIF	Kd	CALIF	Kc		

#### 4.1.3 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.

#### 4.1.3.1 Tipos de sonido de fugas

Hay tres sonidos de fuga típicos. El primer sonido está en el rango de 500 a 800 hertz (Hz). Usualmente se origina por el fenómeno de vibración de un orificio en el tubo, que se transmite a lo largo de las paredes de la tubería, algunas veces, a distancias considerables desde donde se originó la fuga. La identificación de este sonido por pruebas en válvulas, hidrantes, ayudan a detectar tales sonidos. El segundo y tercer tipo de sonido de fuga están entre los 20-250 Hz. El segundo tipo es causado por el impacto del agua contra el suelo en la zona de la fuga. El tercer sonido imita el ruido de una fuente y es causado por el agua que circula en la cavidad de suelo cerca de la fuga. A diferencia del sonido de vibración en las paredes del tubo, la distancia a la que viajan estos dos sonidos, se limita a la zona inmediata de la fuga. Por esta razón, estos dos sonidos son muy importantes en la localización exacta de la fuga.

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

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

- a) *Presión.* Las presiones altas en la red favorecen la localización, ya que al salir el agua con mayor presión, golpea el orificio de la tubería y se propaga con mayor intensidad el sonido. Se requiere usualmente tener 1 kg/cm<sup>2</sup> de presión de agua para una mejor detección del sonido.
- b) *Tamaño y material del tubo.* Las técnicas de sonido pueden utilizarse en cualquier material de tubería. Pero, debido a que el metal es mejor conductor de sonido que el no-metálico, se requieren intervalos de búsqueda más cortos que cuando se inspeccionan tuberías no-metálicas. En las tuberías metálicas se tiene mejor transmisión del sonido, en tuberías de P.V.C. y A-C, el sonido es completamente apagado. Cualquier sonido en el interior o exterior de una tubería, tiende a ser siempre agudo, siendo favorable para el detector de piso. Los materiales que no son buenos conductores del sonido agudo son: plástico, asbesto-cemento y concreto. La localización de fugas en estos tipos de tubería se hacen a distancias más cortas.
- c) *Tipo de suelo.* Observaciones empíricas indican que la arena es normalmente un buen conductor de sonido; la arcilla es un conductor pobre.

- d) *Tipo de superficie.* Pasto y tierra suelta tienden a aislar el sonido, mientras que el concreto y el asfalto son buenos resonadores y dan un sonido uniforme, así:

\* **Carpeta pavimentada**

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

\* **Carpeta asfaltada**

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

\* **Carpeta de terracería**

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

\* **Carpeta con hierba o pasto**

Es una superficie crítica, tiene las desventajas de la carpeta tipo terracería, el terreno presenta diferentes tamaños de hierba y pasto, lo que no permite asentar bien el micrófono de piso lo cual es un riesgo para el equipo, porque puede haber piedras de diámetro de 2 y 3 pulgadas, cubiertas por la hierba al colocarse en-

cima de ellas y puede ocasionar daño en la membrana receptora del equipo. Se recomienda cortar la hierba o el pasto, despejar bien el área de trabajo, en cada uno de los puntos localizados para hacer las detecciones y evitar daños al equipo.

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

\* Terreno duro

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

\* Terreno fangoso

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

\* Terreno con material tipo boleto

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

- f) Tipo de fuga.- Una fuga pequeña (grieta u orificio) presenta un sonido agudo de alta frecuencia; un tubo roto, provoca un sonido grave de poca intensidad y baja frecuencia. El primer caso se debe a que el agua aumenta su velocidad en la falla o porque el agua golpea el suelo. En el segundo caso, debido a que la rotura abarca todo el diámetro de la tubería, el agua sale a tubo lleno sin aumentar dicha velocidad.



- g) Ruidos subterráneos de accesorios y piezas especiales.- Generalmente la fuga se localiza donde el sonido es más intenso, pero bajo algunas condiciones esta afirmación cambia por ejemplo: cambios de dirección del tubo, tubería doblada, codos, té, reducciones, etc., estas condiciones amplifican el sonido y esto puede confundirse con una fuga.
- h) Profundidad de la tubería.- El espesor de la capa de terreno que cubre la tubería el tubo hace variar la intensidad del sonido, por lo que se recomienda contar con los planos actualizados de toda la red, reportes, etc., para identificar estas condiciones y se pueda precisar más rápidamente el sitio de fuga.

Existen equipos comerciales para la detección de fugas por sonido en tuberías enterradas, que pueden clasificarse en directos e indirectos. Los primeros captan el sonido que viaja a través de la tubería, normalmente son los correlacionadores. El segundo tipo detectan los sonidos que se transmiten por medio del suelo, por lo que no requieren ningún contacto con elementos de la red de distribución, fundamentalmente son aparatos que tienen un bastón con campana y audífonos. En el **anexo 4.A** se muestran algunas marcas y modelos de equipos detectores de fugas.

#### 4.1.4 Por presión diferencial

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

Para medir la presión en tuberías generalmente se utilizan manómetros comerciales, o bien, pueden utilizarse manómetros diferenciales con un líquido adecuado. Dada la importancia de lograr una medición confiable de 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 dentro del domicilio, lo cual se puede lograr si se desconecta el medidor, para instalar el manómetro.
- En el caso de que existan presiones menores a  $0.5 \text{ kg/cm}^2$  se recomienda el uso de un manómetro en "U" abierto utilizando mercurio como líquido

manométrico. Para presiones mayores se puede utilizar un manómetro Bourdon con una escala adecuada (0-4 o 0-7 kg/cm<sup>2</sup>). Si no se sabe el rango de presiones existente, primero se deberá utilizar el de mayor escala.

- Las mediciones de la presión se realizan en la toma seleccionada y en las adyacentes, o bien, en una adyacente y en una enfrente. Se debe revisar antes que dichas tomas estén conectadas a la misma línea, ya que podrían estar conectadas a dos líneas diferentes en la misma calle. Dichas mediciones deberán hacerse en un periodo de tiempo no mayor a treinta minutos.
- Al medir la presión, se debe verificar que el punto de medición se encuentre a la misma altura en todas las tomas respecto a un plano de referencia, el cual puede ser el nivel de la acera; o bien, hacer el ajuste correspondiente al comparar las presiones medidas, registrando el desnivel entre ellas midiendo con un clisímetro o con un nivel de mano.
- El operador que realice las mediciones deberá ser uno solo en cada cuadrilla, para evitar que existan errores de apreciación en las lecturas, y utilizar un sólo manómetro, revisando que no exista fuga en sus conexiones.
- Si la caída de presión en la toma inspeccionada es de 10% respecto a las adyacentes o mayor, entonces existe probabilidad de fuga.

#### 4.1.5 Con trazadores

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

## 4.2 Procedimientos para localizar fugas

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

### 4.2.1 Antes de la búsqueda

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

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

#### 4.2.2 Planeación de la localización de fugas

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

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

Una vez analizado lo anterior, se procede a la elaboración del plan de localización de fugas. En el cuadro 4.6 se muestra una guía de los aspectos que debe contener el plan.

#### 4.2.3 Procedimiento de la localización de fugas

Los trabajos de campo se listan en los incisos siguientes:

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

### 4.3 Medición y estimación de fugas descubiertas

Como parte de la localización y reparación, las fugas deben ser medidas para determinar la cantidad de volumen total de agua, que se ha perdido durante su existencia. Hay varias formas de hacer el aforo de fugas: a) Recipiente-cronómetro, b) Uso de fórmulas de orificio y c) Método indirecto.

En los cuadros 4.7 a 4.9 se dan algunos valores para determinar el valor de las fugas, dependiendo de la presión, tipo de roturas y lugar de ocurrencia.

**Cuadro 4.6. Plan de localización de fugas (Ref. Manual AWWA M-36, *Water Audit*).**

Nombre del organismo operador _____	Fecha _____
<b>A. Zona inspeccionada</b>	
A.1. Usando los resultados de la auditoría del agua (balance global), señalar en un plano del sistema de distribución las zonas que serán inspeccionadas. Indicar cuales son las zonas con mayor potencial de recuperación de agua perdida. Considerar registros de fugas, tipo de tubería, edad de tubos, condiciones de suelo, tráfico y procedimientos de instalación.	
A.2. Longitud total de tuberías por inspeccionar: _____	Kilómetros
A.3. Longitud promedio de tuberías por inspeccionar al día: _____	Kilómetros
A.4. Número de días efectivos de trabajo para completar la inspección (dividir línea A.2 entre A.3) _____	
<b>B. Procedimiento y equipo</b>	
B.1. Describir el procedimiento y equipo que se usará para detectar fugas. La experiencia muestra que los mejores resultados se obtienen escuchando fugas en puntos de contacto (medidores, válvulas, etc.):	
_____	
_____	
_____	
B.2. Describir por qué las zonas anotadas en el paso A.1 tienen el mayor potencial de recuperación de agua	
_____	
_____	
B.3. Describir el procedimiento y equipo que se utilizará para puntualizar el lugar exacto de las fugas detectadas:	
_____	
_____	
B.4. Describir cómo se llevará a cabo el trabajo entre las brigadas de reparación y de localización:	
_____	
_____	
B.5. Describir los métodos que se usarán para determinar el caudal o volumen de las fugas excavadas y reparadas:	
_____	
_____	
_____	

Cuadro 4.6. Plan de localización de fugas (Ref. Manual AWWA M-36, *Water Audit*) (continuación).

**C. Brigadas**

C.1. ¿Cuántas personas trabajarán? \_\_\_\_\_

Costos y beneficios del personal:

persona 1	\$/hora _____	\$/ día _____
persona 2	\$/hora _____	\$/ día _____

TOTAL      \$/hora \_\_\_\_\_      \$/ día \_\_\_\_\_

C.2. ¿Cuántos consultores serán contratados? \_\_\_\_\_

Costos y beneficios de consultores:

persona 1	\$/hora _____	\$/ día _____
persona 2	\$/hora _____	\$/ día _____
TOTAL	\$/hora _____	\$/ día _____

**D. Costos de localización de fugas**

CONCEPTO	\$/ día	# días	costo
D.1. Costo de personal	_____	_____	_____
D.2. Costo de consultores	_____	_____	_____
D.3. Costo de vehículos	_____	_____	_____
D.4. Otros	_____	_____	_____
TOTAL	_____	_____	_____

**E. Renta de equipo de localización de fugas**

E.1 Costo del equipo de localización	_____
E.2. Costo de capacitación en el uso de equipo	_____
E.3. Costo de la inspección	_____
E.4. Costo total de equipos	_____

**F. Programa de localización y reparación**

Indicar fechas prácticas y reales:

F.1 Fecha de inicio de la localización \_\_\_\_\_

F.2. Fecha de terminación de la localización \_\_\_\_\_

F.3. Fecha de inicio de reparación \_\_\_\_\_

F.4. Fecha de terminación de reparación \_\_\_\_\_

Preparado por:

Nombre \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

Título \_\_\_\_\_

Cuadro 4.7. Pérdidas en función del tamaño y/o diámetro de juntas y grietas y la presión del agua.

Area de la abertura		Fuga (lps)									
L. mm	D mm	Presión del agua (kg/cm <sup>2</sup> )									
		1.41	2.81	4.22	5.62	7.03	8.44	9.84	11.25	12.65	14.06
25.4	0.794	0.202	0.284	0.347	0.404	0.448	0.492	0.530	0.568	0.606	0.637
25.4	1.587	0.404	0.568	0.694	0.801	0.896	0.984	1.066	1.136	1.205	1.268
25.4	3.175	0.801	1.136	1.394	1.609	1.798	1.968	2.126	2.271	2.410	2.542
25.4	6.350	1.609	2.271	2.782	3.217	3.596	3.937	4.252	4.549	4.826	5.085

Cuadro 4.8. Pérdidas de agua en hoyos circulares para diferentes presiones.

D mm	A mm <sup>2</sup>	Fuga (lps)									
		Presión del agua (kg/cm <sup>2</sup> )									
		1.406	2.812	4.218	5.625	7.031	8.437	9.843	11.249	12.655	14.062
2.54	5.07	0.067	0.095	0.117	0.135	0.151	0.165	0.178	0.190	0.202	0.210
5.08	20.27	0.269	0.381	0.467	0.539	0.600	0.660	0.713	0.762	0.808	0.852
7.62	45.80	0.606	0.857	1.050	1.213	1.356	1.485	1.604	1.715	1.819	1.918
10.16	81.07	1.078	1.524	1.867	2.156	2.411	2.641	2.852	3.049	3.234	3.409
12.7	126.68	1.684	2.382	2.917	3.369	3.766	4.126	4.457	4.764	5.053	5.327
15.24	182.41	2.427	3.430	4.201	4.851	5.424	5.941	6.417	6.861	7.277	7.670
17.78	248.29	3.301	4.669	5.718	6.603	7.382	8.087	8.735	9.338	9.905	10.440
20.32	324.29	4.312	6.098	7.469	8.624	9.643	10.563	11.409	12.197	12.937	13.636
22.86	410.43	5.458	7.718	9.453	10.915	12.204	13.368	14.440	15.437	16.373	17.259
25.4	506.71	6.738	9.529	11.870	13.476	15.066	16.504	17.828	19.057	20.214	21.308
27.94	613.12	8.153	11.530	14.121	16.306	18.230	19.970	21.570	23.060	24.458	25.781
30.48	729.66	9.702	13.721	16.805	19.405	21.695	23.766	25.670	27.443	29.108	30.682
33.02	856.33	11.387	16.104	19.723	22.774	25.462	27.892	30.127	32.207	34.161	36.009
35.56	993.15	13.206	18.676	22.874	26.412	29.530	32.348	34.940	37.353	39.619	41.762
38.10	1140.0	15.160	21.440	26.258	30.320	33.899	37.135	40.110	42.880	45.481	47.940
40.64	1297.17	17.249	24.394	29.876	34.498	38.570	42.251	45.638	48.787	51.747	54.546
43.18	1464.38	19.472	27.538	33.727	38.944	43.542	47.698	51.519	55.076	58.417	61.577
45.72	1641.73	21.831	30.873	37.812	43.661	48.815	53.474	57.759	61.747	65.492	69.034
48.26	1829.21	24.324	34.399	42.130	48.647	54.389	59.580	64.354	68.798	72.971	76.918
50.80	2028.83	26.951	38.115	46.681	53.903	60.265	66.017	71.307	76.230	80.854	85.228

Cuadro 4.9. Gasto de fuga en tomas domiciliarias por sector (ejemplo).

Presión media (kg/cm <sup>2</sup> )	Gasto de fuga (lps)
1.55	0.0000
1.03	0.0338
0.70	0.0000
1.14	0.0188
1.41	0.0452
1.26	0.0295
1.53	0.0401
0.85	0.0204
0.55	0.0110
1.10	0.0200
0.87	0.0175
0.94	0.0245
1.62	0.0474
1.67	0.0419
1.08	0.0337

#### 4.4 Reparación de fugas y rehabilitación de tubos

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

##### 4.4.1 Tomas domiciliarias

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

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

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

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

- \* Trabajos en el ramal. En caso en que el daño sea en tubería de cobre, las uniones del tramo añadido se realizan mediante la tuerca unión. Para polietileno se utiliza el cople de reparación. Cuando se requiere sustituir el ramal, es posible utilizar la técnica anteriormente descrita.
- \* Trabajos en el cuadro. En todos los casos de rehabilitación, debe de emplearse el mismo material del que esta formado el cuadro, teniendo en cuenta las observaciones de corrosión.
- \* Observaciones sobre corrosión. Cuando se instala una combinación de tuberías metálicas, se produce corrosión, debido a que se forma un par galvánico, sirviendo el agua como electrolito, propiciando que el material menos noble tienda a disolverse.

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

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

Para terrenos con relleno sanitario, salinos o con alta humedad (lodos, charcos), se recomienda utilizar polietileno de alta densidad y evitar el metal.

Respecto a las abrazaderas de fierro fundido en suelos agresivos, es necesario protegerlas con recubrimiento epóxico anticorrosivo.

#### 4.4.2 Tuberías principales y secundarias

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



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

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

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

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

## 4.5 Estadística de fugas

La estadística de la ocurrencia de fugas es una 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.

- a) Consumo per cápita.- Se elaboran gráficas con datos del padrón de usuarios, del volumen promedio diario y mensual de agua utilizada por los usuarios, considerando periodos mensuales y anuales respectivamente, indicando los porcentajes medido y estimado, por tipo de consumidor y por clase socioeconómica (alta, media, baja y comercial).
- b) Frecuencias de ocurrencia de fugas.- Las estadísticas de ocurrencia de fugas, se pueden expresar como una frecuencia de ocurrencia o como porcentaje relativo al total de eventos registrados a través del tiempo, y permiten examinar las prácticas actuales de registro y las tendencias del organismo operador en cuanto al control de fugas, así como para la identificación de los factores que intervienen en la evaluación de fugas en un sistema de distribución. Un resumen de las principales estadísticas de ocurrencia de fugas se puede elaborar de los registros históricos de reparación de la manera siguiente:
  - Fecha de reparación.
  - Tipo de falla (rotura, rajadura, perforación, etc.)
  - Diámetro del tubo.
  - Material del tubo.
  - Profundidad del tubo.
  - Tipo de suelo circundante
  - Fecha de instalación.
  - Ubicación geográfica.
- c) 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, expresado como número de fugas al año, o bien, gasto total de agua perdida al año (figura 4.5 y 4.6).
  - Índice de fugas por tipo de elemento donde ocurrió la fuga (p. ej. en tomas domiciliarias, en tuberías de la red de distribución, en

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

- Porcentaje de fugas reportadas mensualmente al organismo operador, menos el porcentaje de fugas reparadas (figura 4.7).

Las gráficas de frecuencias (número) de fugas se obtienen por año, considerando el registro disponible. Dichas gráficas permiten observar si las frecuencias de fugas tienden a permanecer constantes, incrementarse o decrecer; en los diferentes sectores de la red, por material de elemento, o por tipo de elemento donde ocurren. Un análisis de las tendencias permite comparar los estados de fugas año con año y relacionarlas con políticas de reparación y control, para determinar si dichas políticas han sido positivas o no.

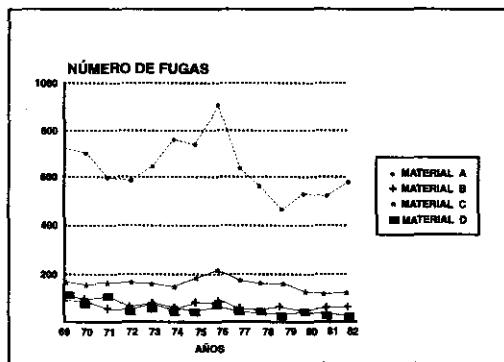


Figura 4.5. Tendencia de fugas por tipo de material del tubo (East Bay Municipal Utility District).

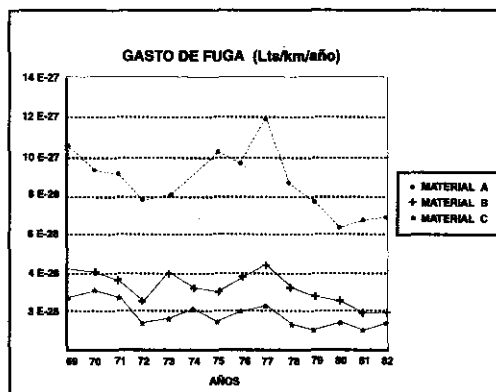


Figura 4.6. Tendencia de gastos de fuga por tipo de material de la tubería (East Bay Municipal Utility District).

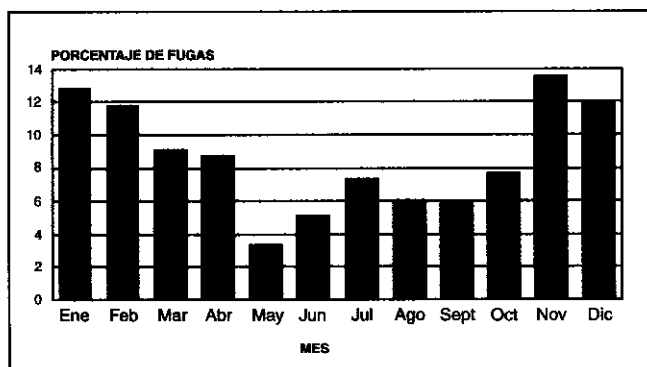
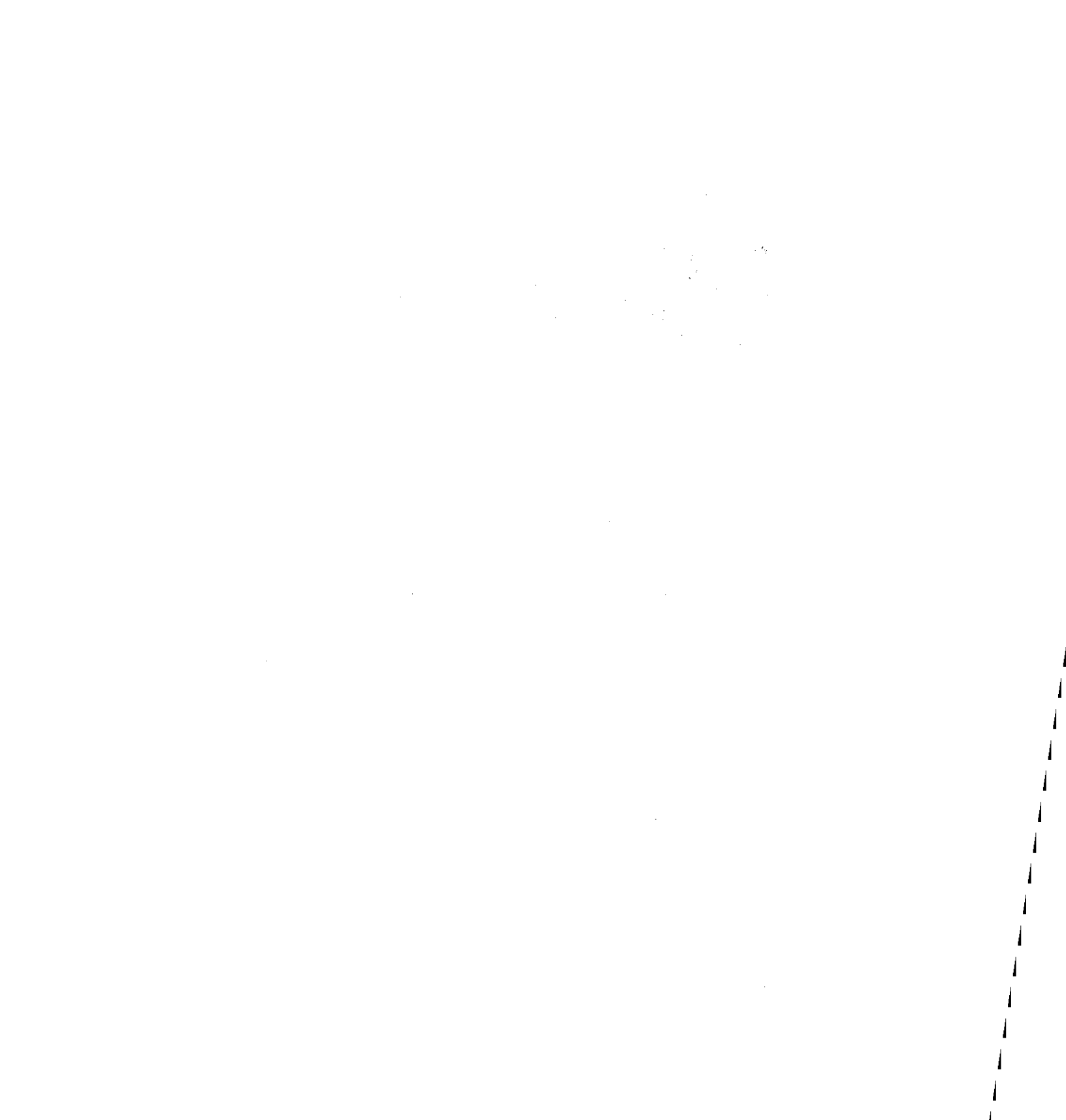


Figura 4.7. Porcentaje de fugas reportadas, menos reparadas al mes (Binghamton, N.Y.).

Al ir conformando las estadísticas de las reparaciones de fugas, ayudará en el futuro a disponer de información para que se utilice en la evaluación de los beneficios del programa de localización de fugas. También, es importante determinar en qué medida el programa de localización y reparación de fugas tuvo un beneficio efectivo en el uso y conservación del agua. Para determinar cuál fue el costo efectivo, el organismo deberá evaluar el programa completo.

## Referencias

1. AWWA, *Water Audits and Leak Detection, Manual of Water Supply Practices*, M36, First edition, Denver Co. 1990.
2. Enriquez Z S, Vázquez L A, Ochoa A L, *Manual de Control de Fugas*, Comisión Nacional del Agua, SGHUI-IMTA, 1993, México D.F.



## Anexo 4.A Equipos comerciales para detección de fugas

A continuación se da una lista de equipos detectores y fabricantes (Ref. Manual AWWA M-36). Y enseguida se describen algunos equipos:

Cuadro 4.A.1. Lista de proveedores de equipos localizadores de fugas.

Tipo	Compañía	Modelo	Precio US\$ (1988)	Teléfono/Estado
Sónico	<i>Heath</i>	Son-i-kit	2,550	(916) 371-9431 (CA)
Sónico	<i>Heath</i>	Aqua-Scope	1,650	(916) 371-9431 (CA)
Sónico	<i>Fisher</i>	XLT-20	1,450	(209) 826-3292 (CA)
Sónico	<i>Fisher</i>	LT-15	789	(209) 826-3292 (CA)
Sónico	<i>Metrotech</i>	HL-2000 DX	3,270	(415) 965-9208 (CA)
Sónico	<i>Metrotech</i>	200L	715	(415) 965-9208 (CA)
Sónico	<i>Aqua-Tronics</i>	AT-2000	1,100	(503) 363-4378 (OR)
Sónico	<i>Aqua-Tronics</i>	AT-1000	750	(503) 363-4378 (OR)
Sónico	<i>Fluid Conservation Systems</i>	L-100	2,400	(512) 834-9925 (TX)
Sónico	<i>Goldak</i>	777	510	(818) 240-5666 (CA)
Sónico	<i>Lynch-Resources</i>	WL-200	1,225	(403) 270-8461 (CA)
Sónico	<i>Lynch-Resources</i>	FSB-4L	334	(403) 270-8461 (CA)
Acústico	<i>Lynch-Resources</i>	LS-100	55	(403) 270-8461 (CA)
Acústico	<i>Anixter</i>	Sonoscope	15	(800) 443-5874 (KY)
Acústico	<i>Pollard</i>	Sonoscope	15	(516) 746-0842 (NY)
Acústico	<i>Heath</i>	Geophone	245	(516) 746-0842 (NY)
Acústico	<i>FCS</i>	Geophone	260	(617) 344-1400 (MA)
Correlador	<i>Lynch-Resources</i>	2000 Series	34,000-43,000	(800) 531-5465 (TX)
Correlador	<i>Lynch-Resources</i>	LC2000	27,000-30,000	(403) 270-8461 (CA)

### a) METROTECH MOD-220

Clasificación del equipo: electrónico de detección directa.

Aplicación: Localizador de cajas de válvulas.

Características principales:

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

—El localizador es efectivo para detectar hasta una profundidad de 1.5 metros.



Figura 4.A.1. Equipo localizador de cajas de válvulas.

#### b) METROTECH MOD-880

Clasificación del equipo: electrónico de detección directa.

Aplicación: localizador de tuberías.

Características principales:

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

#### c) GEÓFONO MECÁNICO

Clasificación del equipo: mecánico.

Aplicación: detector de fugas.

Características principales:

- No se emplea cuando hay vientos fuertes, las mangueras del geófono captan este ruido.
- No tiene filtro para el control de ruidos del medio ambiente.
- Las detecciones se hacen a cada 5 m, en tuberías metálicas y en no metálicas se hacen a cada 2 metros.

- Incómodo cuando se realizan detecciones con recorridos largos.
- Para cambiar de posición las membranas, se tienen que quitar los auriculares, el ruido, por muy suave que sea es demasiado molesto para el oído.

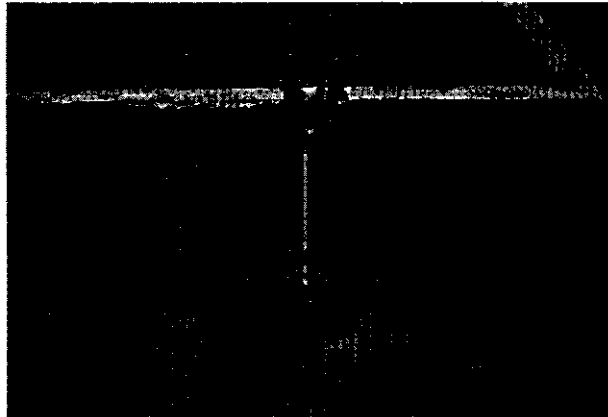


Figura 4.A.2. Equipo localizador de tuberías.

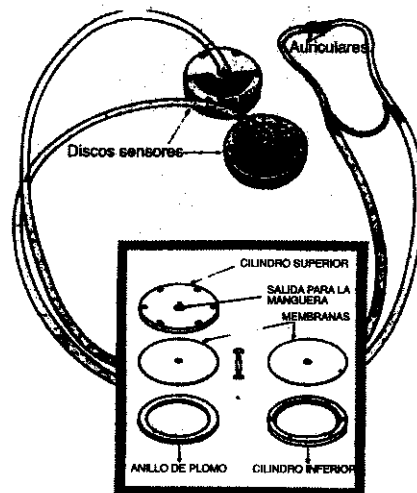


Figura 4.A.3. Geófonos para localizar fugas.



**d) FISHER MOD-XLT 20**

Clasificación del equipo: electrónico de detección directa.

Aplicación: detector de fugas.

Características principales:

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



Figura 4.A.4. Equipo detector.

**e) AQUA-SCOPE**

Clasificación del equipo: electrónico de detección directa.

Aplicación: detector de fugas.

Características principales:

- Acústico y de sensibilidad alta.
- Tiene controles para evitar los ruidos molestos al oído.

- Amplificador de alta fidelidad.
- Medidor visual de las intensidades de sonido.
- Capta sonidos de hidrantes, válvulas, etcétera.
- Localiza con facilidad las fugas en tuberías metálicas e indica su importancia.
- Abarca grandes distancias en chequeo de rutina.
- Su precisión es mayor que la de los detectores mecánicos.
- Para la detección de tuberías de P.V.C. o asbesto cemento el sonido que presenta en la fuga es difícil de detectarlo, se tienen que hacer las detecciones a cada metro y colocar el micrófono de piso lo más cerca posible sobre la tubería.

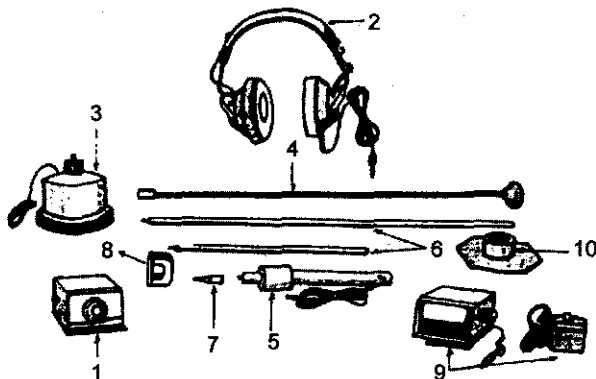


Figura 4.A.5. Equipo detector de fugas AQUA-SCOPE

#### f) METROTECH MOD-200L

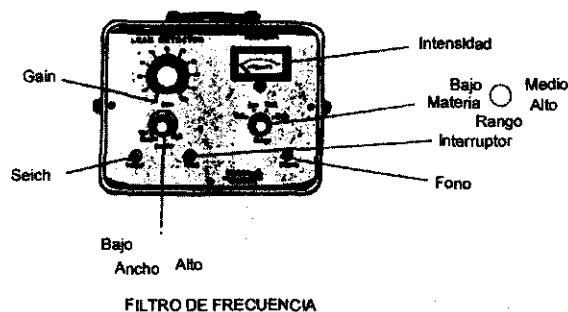
Clasificación del equipo: electrónico de detección directa.

Aplicación: detector de fugas.

Características principales:

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

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



Receptor - Panel de detector METROTECH 200L

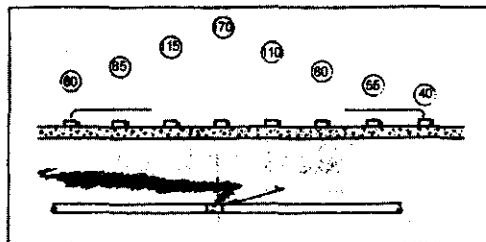


Figura 4.A.6. Equipo detector de fugas.

#### g) AQUA-PHON

Clasificación del equipo: electrónico de detección directa.

Aplicación: detector de fugas.

Características principales:

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

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

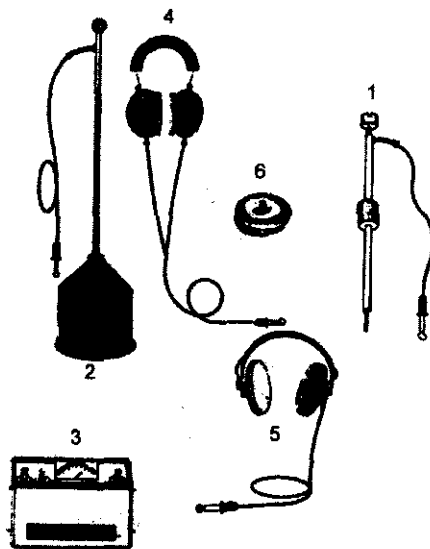


Figura 4.A.7. Equipo detector de fugas AQUA-PHON.

#### *h) METROTECH MOD-HL2000*

Clasificación del equipo: electrónico de detección directa.

Aplicación: localizador de fugas.

Características principales:

- Tiene capacidad de memoria para almacenar y medir hasta ocho sonidos de fugas intensas.

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

#### i) ANALIZADOR HYDROTRONIC

Clasificación del equipo: electrónico de detección indirecta.

Aplicación: localizador de fugas.

Características principales:

- Tiene un sensor electrónico que convierte los impulsos acústicos en señales electrónicas, las amplifica y las trasmite a la consola electrónica.
- Mediante un cable se conecta el sensor electrónico a la consola electrónica, cuya finalidad es transmitir señal eléctrica del sensor a la consola. Estas señales pueden ser transmitidas a través de cables de hasta 1,500 metros.
- La consola electrónica se compone de las siguientes partes:
- Lámparas de frecuencia.- Tiene diez lámparas que muestran los rangos de frecuencia de fugas, las fugas grandes necesitan ser analizadas con rangos de baja frecuencia y los sonidos de fugas pequeñas son analizados en rangos de alta frecuencia:
- Filtros de exclusión.- Son diez filtros de exclusión, están conectados a los circuitos de las diez lámparas siendo operados por conmutador para acomodar la aceptación o exclusión de cualquier combinación de frecuencias que llegan a la consola.
- Osciloscopio.- Revela las diversas formas y patrones de ondas recibidas e identifica la forma predominante de la frecuencia de onda producida por el ruido de la fuga, así como las ondas que provienen del medio ambiente como son las corrientes eléctricas de las instalaciones de alta tensión, transformadores, etcétera.
- Medidores de intensidad de frecuencia.- Tiene dos medidores electrónicos analógicos, que demuestran la intensidad de la frecuencia de la fuga y envían el valor de esa intensidad al microprocesador.
- Audio.- Los circuitos de audio responden a través de un altoparlante y audífonos para confirmar el sonido típico de la fuga, así como otros

- sonidos provenientes de la red de distribución, como los producidos por la alta velocidad del agua, puntos de estrangulamiento, etcétera.
- Lámparas de señal de entrada.- Son cuatro lámparas que demuestran automáticamente si la señal de entrada en la consola está en el nivel correcto, es muy fuerte o muy débil.
  - Microprocesador.- Almacena los datos provenientes de los medidores de intensidad de la frecuencia, así como la longitud de la tubería entre las posiciones del sensor, habiendo sido programado para indicar la posición de la fuga.
  - Panel de la consola.- El panel de control está provisto de comandos que permiten operar todas las funciones de forma filtrada o no, incluyendo los controles para conectar y desconectar.
  - Se puede detectar deficiencia en la tubería, altas velocidades, medidores obstruidos y válvulas defectuosas.
  - Todos los componentes electrónicos operan con una fuente de energía de 12 volts.
  - El trabajo puede realizarse durante horarios normales de trabajo o nocturnos si es necesario.
  - Según el fabricante se pueden detectar fugas hasta de 0.025 litros por segundo.
  - El equipo estima la pérdida de agua por fuga con errores de +/- 20 por ciento .
  - La presión mínima necesaria que se requiere según el fabricante es de 14.4 m.c.a.



Figura 4.A.8. Localizador de fugas.

*j) FCS MOD-L100 Y FCS MOD-C2000*

Clasificación del equipo: electrónico de detección indirecta.

Aplicación: detector y localizador de fugas.

Características principales:

- El equipo L100 es altamente sensitivo para escuchar, es un aparato que habilita la exploración de detección de fugas a lo largo de la tubería.
- Este equipo incluye una consola con amplificador, un traductor, sistema armado de traducción y audifonos, los traductores son especiales para la evaluación de fugas.
- El FCS-C2000 localizador de fugas, normalmente es usado después de adecuar el sonido identificado con el detector de fugas L100.
- El *software* del FCS-C2000 está diseñado para permitir agilización en el trabajo.
- Los cálculos matemáticos son ejecutados por un microprocesador.
- Despliega los resultados a pies o metros.
- Puede detectar el sonido de cualquier tipo de fluido.
- El sistema manda un mensaje automáticamente cuando hay señal de problemas del operador.
- Automáticamente presenta un diagnóstico de problemas de mantenimiento.
- Puede operarse desde un vehículo con 12 volts.
- Calcula automáticamente varios tipos de tubería y diámetros.
- Opera en temperaturas de -20 a 50 grados centígrados.

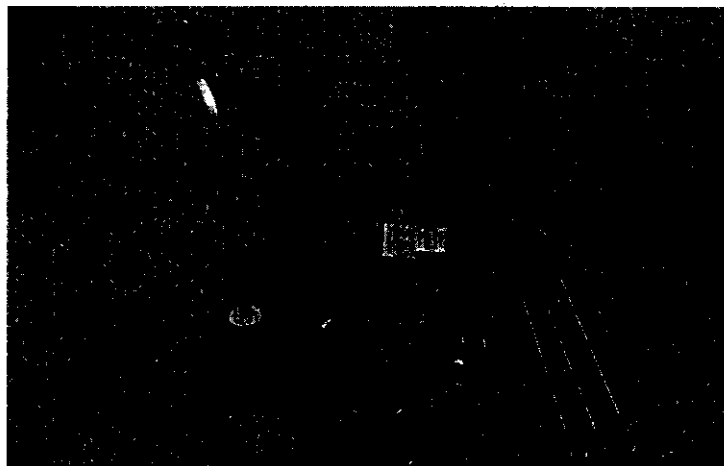


Figura 4.A.9. Localizador de fugas.

## Anexo 4.B Técnicas comerciales para rehabilitar tuberías

### 4.B.1 Técnicas de limpieza de tuberías

El propósito de las técnicas de limpieza de tuberías del tipo no agresiva es mejorar la calidad del agua mediante la reducción de las incrustaciones adheridas dentro del sistema de distribución. Muchos de estos problemas son causados por el incremento en la velocidad y la reversión de flujos. En muchos de estos casos la limpieza no agresiva proporciona una solución temporal.

El principio de este grupo de técnicas es la eliminación de todo el material innecesario e indeseable del interior de una tubería. Esto podría incluir depósitos difíciles de remover, además de productos corrosivos. El principal objetivo es restaurar la capacidad hidráulica del tubo.

Entre los métodos principales se pueden mencionar:

- Limpieza hidráulica
- Cepillado de tuberías
- Limpieza con aire
- Raspado de tuberías

### 4.B.2 Técnicas de reemplazo de tuberías

Una sustitución es justificada cuando, se tienen:

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

Entre las técnicas de sustitución encontramos las siguientes:

- Método hydros de extracción hidráulica



- Método de extracción mecánica
- Inserción de tuberías

#### 4.B.3 Técnicas de reparación de tuberías

Los recubrimientos no-estructurales restauran la capacidad hidráulica con un efecto de duración considerablemente largo. Sin embargo, la principal justificación para su empleo es el mejoramiento de la calidad del agua mediante el aislamiento de la superficie de una tubería metálica y la prevención contra la corrosión interna. Además tiene el efecto benéfico de prolongar la vida de la tubería.

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

Dentro de los revestimientos no-estructurales se pueden enumerar los siguientes:

- Recubrimiento con mortero-cemento
- Recubrimiento con resinas epóxicas
- Recubrimientos blandos
  - Proceso insituform
  - Proceso Phoenix
  - Proceso Palmen

Por su parte, los recubrimientos estructurales proporcionan capacidad estructural a la tubería, pero la capacidad hidráulica es reducida por su aplicación. Estas técnicas ahorran aproximadamente de un 20-35% del costo equivalente de un reemplazo, pero el número de aplicaciones potenciales es muy limitado.

Algunas de estas técnicas son:

- Recubrimientos con manguera ajustable (tubo-tufa)
- Revestimiento deslizable
- Revestimiento con rodillos corredizos
- Revestimiento con extensión

Las condiciones para optar por rehabilitar tuberías de la red son:

- Altas pérdidas de agua
- Reducción del área hidráulica

- Grandes pérdidas de presión
- Alto nivel de daños en las tuberías y costos excesivos de mantenimiento
- Número elevado de reparaciones
- Mala calidad del agua, con alto grado de incrustaciones

Las técnicas de reparación y rehabilitación en tuberías se clasifican como:

a) Recubrimiento de tuberías.

- Con morteros, resinas epóxicas, etcétera.
- Con películas.

b) Sustitución de tuberías.

c) Inserción de tuberías.

*Recubrimiento de tuberías*

- Recubrimiento con mortero (figura 4.B.1)

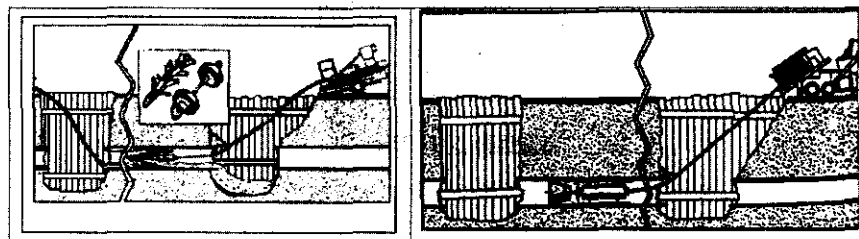


Figura 4.B.1. Recubrimiento de tuberías con mortero.

**Ventajas:**

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

**Desventajas:**

- No agrega capacidad estructural.
- Riesgo de fisuras en las juntas.
- Elevación del ph momentáneamente.

\* Recubrimiento con mortero epóxico o resinas epóxicas:

**Ventajas:**

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

**Desventajas:**

- No agrega capacidad estructural.
- Podría haber problemas de toxicidad.
- Requiere un alto control de calidad.

**\* Recubrimientos blandos:**

**\*\* Proceso *insituform*, ver figura 4.B.2.**

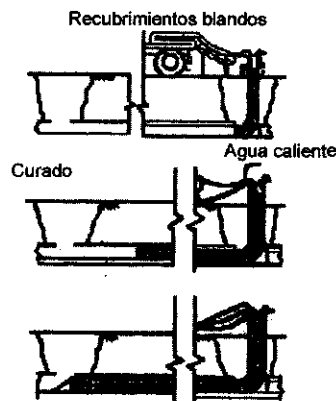


Figura 4.B.2. Proceso *insituform* de recubrimientos blandos.

**\*\* Proceso Phoenix , ver figura 4.B.3.**

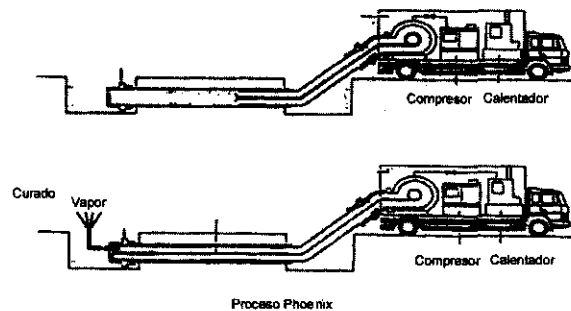


Figura 4.B.3. Phoenix para recubrimientos blandos.

**\*\* Proceso Paltem, ver figura 4.B.4.**

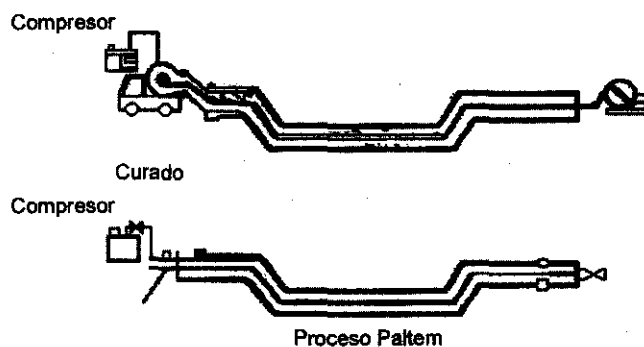


Figura 4.B.4. Proceso Paltem para recubrimientos blandos.

### Sustitución de tuberías

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

#### Ventajas:

- Recubrimiento sano.
- Menor costo que el remplazo.
- Mínima excavación.

#### Desventajas:

- Limitaciones de diámetros.
- Limitaciones de materiales.

### Inserción de tuberías

La inserción consiste en introducir una tubería nueva dentro de la existente. En la figura 4.B.5 se muestra el proceso típico de inserción de tuberías.

#### Ventajas:

- Mínima excavación.
- No tiene problema de junteo.
- Más económico que el remplazo.
- Periodo de vida útil grande.

#### Desventajas:

- Puede haber reducción de la capacidad hidráulica.
- Limitaciones por diámetro.

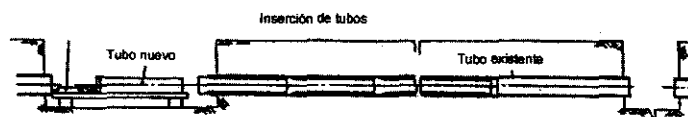


Figura 4.B.5. Sustitución de tuberías.

### *Técnicas de reparación y sustitución de tomas*

Las fallas más comunes que se presentan en tomas son:

- Rajadura, debido a la mala calidad del material o de la construcción.
- Perforación o corte, debido a cargas externas.
- Piezas flojas, debido a una mala instalación.

El método de rehabilitación más efectivo es la sustitución de tomas, debido a que: se pueden utilizar materiales mejorados para las tuberías y conexiones, se homogenizan los componentes de la red y se actualiza el catastro de la misma.

### *Mecanismos de tensión*

Esta técnica evita la ruptura de banquetas y pavimentos, y sólo es necesario hacer dos excavaciones, una en la conexión con la tubería principal y otra en la de la casa, y por medio de un dispositivo (figura 4.B.6) se puede sacar la tubería vieja y meter la nueva.

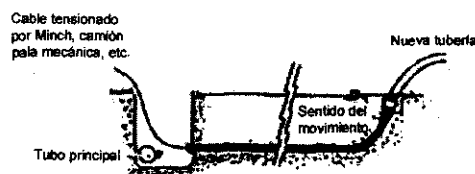


Figura 4.B.6. Mecanismo de sustitución de tomas domiciliarias por tensión.

### *Mecanismos de percusión*

Este equipo es similar al anterior pero en lugar del dispositivo de tensión utiliza una serie de barras que se van uniendo y enterrando en el suelo, de un lado a otro; para meter la tubería nueva, se sacan las barras de manera inversa.

# Capítulo 5 Localización de conexiones no autorizadas

Leonel H. Ochoa Alejo

## 5.1 Introducción

Uno de los principales problemas en los sistemas de agua potable, es la conexión a la red de instalaciones no autorizadas, los cuales originan significativas pérdidas de agua en el balance global. Cuando se realiza la facturación, estas pérdidas se reflejan en agua no-contabilizada, ocasionando disminución de ingresos por la venta del servicio. No existen métodos convencionales para localizar las conexiones no-autorizadas, por lo que es necesario realizar prácticas de campo, que resulten de combinaciones hechas con las técnicas y los equipos disponibles, tales como detectores, pitometría, micromedidores, manómetros, etcétera.

En este documento se presentan los métodos para la localización de conexiones no-autorizadas, que pueden aplicarse en una ciudad, basados en un análisis de especificaciones, bibliografía y de experiencia técnica. Los métodos se agrupan de acuerdo al tipo de conexión no-autorizada. Se menciona en cada grupo la descripción de la conexión, los comentarios al correspondientes y el procedimiento respectivo.

## 5.2 Tipos de conexiones no-autorizadas

En este documento, se entiende por conexión no-autorizada a alguno de los dos casos siguientes:

Grupo 1.- Aquella conexión domiciliaria que está conectada a la red y registrada por el organismo operador, pero que tiene una instalación fraudulenta, hecha por el usuario, que permite el paso de agua al domicilio de manera ilegal.

Grupo 2.- Son las conexiones que no se actualizan oficialmente, después de un uso determinado.

Grupo 3.- Aquella conexión domiciliaria que está conectada a la red de agua potable y que el organismo operador no tiene registrado a este usuario.

### 5.2.1 Conexiones no-autorizadas del grupo 1

Las conexiones que se incluyen en este caso son las siguientes:

- i) *Instalación de un By-pass.*- Generalmente, se coloca enterrado bajo el "cuello de ganso" de la toma domiciliaria, salvando el micromedidor. A veces, se coloca una válvula en la toma domiciliaria, para derivar el paso del agua hacia este By-pass.
- ii) *Retiro del registrador.*- Consiste en retirar el contador del micromedidor, cuando éste es de transmisión magnética, durante una parte del mes.
- iii) *Reemplazo del micromedidor por un niple.*- Consiste en retirar el aparato de medición, reemplazándolo por un tubo de igual longitud, durante un tiempo del mes.

Estos fraudes no son fáciles de localizar y para hacerlo, se debe tener en el organismo operador un sistema de estadísticas, en las cuales aparezcan aquellas instalaciones con consumos inferiores a 10 m<sup>3</sup>/mes, donde es de sospechar que se encuentren estos usuarios fraudulentos.

Para la localización de este tipo de conexión, se elabora un listado de aquellas instalaciones que tengan los consumos inferiores a 10 m<sup>3</sup>/mes y se procede a hacer una visita a cada una de ellas, investigando la cantidad de gente que vive en la casa, la cantidad de gente que permanece en ella. Se asigna a cada persona una dotación promedio y se obtiene un consumo calculado, que se compara con el registrado por el organismo operador; si hay una marcada diferencia, se procede a inspeccionar la instalación, verificando la exactitud del micromedidor o bien, cerrando el paso de agua hacia el interior del domicilio y escuchando con un localizador de fugas (tipo directo) el posible flujo clandestino de agua.

### 5.2.2 Conexiones no-autorizadas del grupo 2

Dentro de este grupo se consideran las siguientes conexiones:

- i) *Uso de instalaciones Provisionales no-retiradas.*- Otro uso fraudulento es de los servicios provisionales para construcción. El agua usada en la construcción no es un uso doméstico, sino industrial, ya que la actividad constructora está clasificada en ese rango.
- ii) *Cambio de uso de las instalaciones comerciales.*- Se presenta cuando los locales y bodegas de negocios, varían de tamaño.

Se debe instalar medidores provisionales para medir el agua que se utilice durante la construcción de algún edificio. El aparato debe ser retirado cuando la empresa constructora solicite la instalación de los

micromedidores definitivos. En el caso de cambio de uso en instalaciones comerciales, se pueden presentar situaciones, donde el dueño de un local vende y entonces el nuevo dueño decide dividirlo en tres locales, para lo cual realizan dos instalaciones no registradas.

La única forma de identificar a estos usuarios es mediante la investigación de campo, solicitando la factura del servicio, haciendo un estimativo del consumo posible del local y si resulta alguna duda, proceder a cerrar la llave del micromedidor e inspeccionar si pasa agua hacia el interior. Si esto ocurre, buscar la fuga con equipos localizadores de fugas.

### 5.2.3 Conexiones no-autorizadas del grupo 3

Pertenece a este tipo de conexión la *instalación de tomas ocultas*, que consiste en una conexión completa, que se instala desde la red hasta el domicilio, de manera totalmente escondida, de la que no existe ningún registro.

Este tipo es el más difícil de localizar, puesto que la conexión no existe teóricamente en el padrón de usuarios, y no es posible hacer ninguna referencia. Generalmente, se realiza con el fin de no pagar los altos consumos. Muchas veces, se instala atravesando lotes completos, o bien con tuberías muy largas, lo que hace más complicada su localización.

Para identificar estas instalaciones, se puede utilizar alguno de los métodos siguientes o la combinación de ellos:

- **Método 1.** En un plano catastral se señalan todas las conexiones identificables con el padrón de usuarios o el registro del organismo operador y se comprueba que cada lote tenga una toma domiciliaria. Las lotificaciones que no tengan toma domiciliaria se investigan en el sitio, inspeccionado visualmente o con la ayuda de un detector de tuberías enterradas o de fugas.
- **Método 2.** En un tramo de tubería (una cuadra por ejemplo), se instalan dos medidores de flujo, y se registra el gasto a la entrada y a la salida (figura 5.1). Antes de iniciar la medición, se cierra el paso del agua a todas las tomas domiciliarias legales que están conectadas al tramo; éstas deberán permanecer cerradas durante todo el periodo de medición (una hora aproximadamente). Se calcula la diferencia de gastos entre la entrada y salida; si la diferencia es mayor al 10% del gasto del tramo, entonces hay que realizar una inspección más detallada de la zona con equipos detectores de fugas. No hay que olvidar, que en esta diferencia puede deberse también a fugas físicas en la red o en las propias tomas domiciliarias.



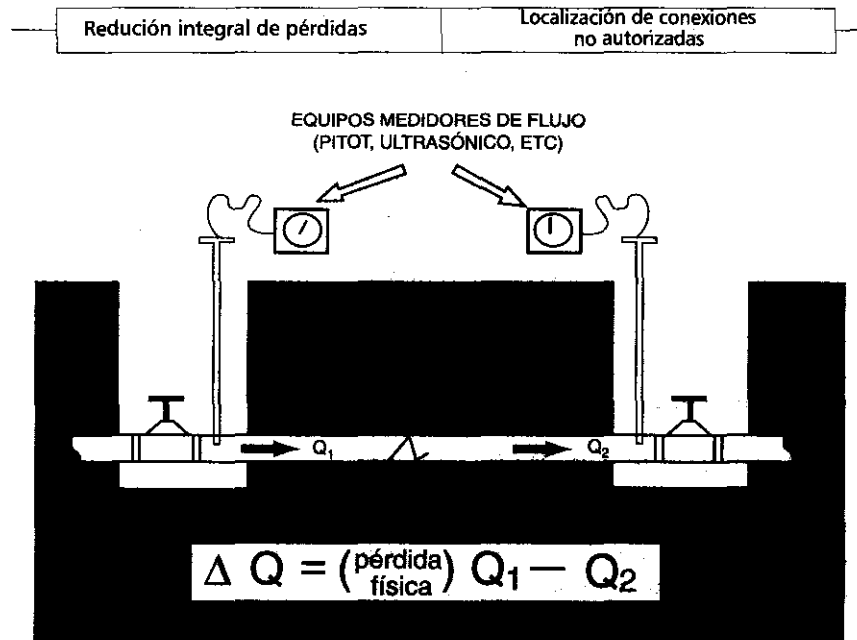


Figura 5.1. Método 2 para localizar tomas no-autorizadas.

- **Método 3.** Es similar al anterior, pero con la variante de que, en lugar de un tramo de tubería se selecciona una zona (una, dos o más manzanas, por ejemplo), la cual se aísla del resto de la red mediante movimiento de válvulas y donde solamente se instala un medidor de gasto a la entrada. El periodo de medición abarca 24 horas. Con la determinación del índice de consumo nocturno (consumo nocturno entre el consumo promedio) se estima si existen o no pérdidas. En este método se tiene la ventaja de abarcar tramos de la red más grandes, pero se corre el riesgo de no controlar el aislamiento.
- **Método 4.** Consiste en instalar un detector de fugas del tipo «correlator» (detección indirecta) en un tramo de tubería, similarmente al del método 2. Aquí, la variante será que en lugar de medir flujo se estará midiendo frecuencia de sonidos. Aunque no es un método, que dé resultados eficaces, puesto que el flujo hacia una toma no-autorizada es de muy baja frecuencia, puede ser un indicador, cuando el aparato dispone de estos rangos. Una vez detectada la frecuencia correspondiente, deberá comprobarse su existencia con el equipo de detección directa. Otra manera de elevar la confiabilidad del método puede hacerse elevando la presión del agua en el tramo analizado; sin embargo, esto tiene la desventaja de que al presurizarse la línea, los tinacos y cisternas de las casas conectadas a ella se saturan y deja de fluir el agua hacia

estos domicilios, y obviamente es imposible detectar algún sonido debido a conexión no-autorizada.

### 5.3 Recomendaciones

Los métodos presentados son efectivos si se aplican correctamente. Sin embargo, algunos resultan más eficientes que otros, dada su naturaleza. Asimismo, es conveniente tomar en cuenta el costo que involucra cada uno de ellos. Al respecto, se concluye lo siguiente:

El tipo de conexión no-autorizada más difícil de localizar es la instalación oculta. El método más recomendable es el método 2, puesto que es el que muestra más control y certeza en la medición y es el que menos errores lleva consigo. El costo que puede involucrar este método es muy similar a los otros, excepto en el material utilizado, como son las válvulas de inserción y papel de registro en un equipo de pitometría. Sin embargo, se puede utilizar otro tipo de aparato, siempre y cuando se garantice que es preciso, por ejemplo medidor ultrasónico, los cuales no involucran estos costos. La utilización del equipo detector deberá hacerse como un apoyo a este método y no como la actividad principal, de lo contrario se corre el riesgo de disminuir la eficiencia en los trabajos (dando «palos de ciego»), ya que se puede estar buscando conexiones no-autorizadas donde no existe ningún tipo de pérdida de agua, con el consecuente aumento en los costos.

Finalmente, conviene mencionar las siguientes recomendaciones prácticas, para llevar a cabo el trabajo de campo, en la aplicación de este método 2:

- \* Hay que verificar las presiones en la red, de tal manera que se pueda estimar el rango de frecuencia esperado por el flujo en una toma no-autorizada.
- \* Conviene consultar el manual de los equipos detectores que se vayan a utilizar, revisar las instrucciones, verificar el equipo, etcétera.
- \* Se recomienda cuantificar el volumen de agua que se tiene en cada toma no-autorizada localizada, para que posteriormente se realice un balance de beneficio del agua recuperada/costo de la reparación.
- \* Conviene localizar todas las tomas no-autorizadas mencionadas en los grupos, ya que en total pueden representar una pérdida significativa en el sistema.

## **Bibliografía**

*AIDIS, Memorias del Seminario Internacional sobre Reducción y Control de Pérdidas, Cali Colombia, Agosto de 1989.*

*AWWA, Water Audits and Leak Detection, Manual of Water Supply Practices, M36, First edition, Denver Co. 1990.*

*Enriquez Z S, Vázquez L A, Ochoa A L, Manual de control de fugas, Comisión Nacional del Agua, SGIHUI-IMTA, 1993, México D.F. fuga.*

# Capítulo 6 Corrección de errores de medición y facturación

Salvador Navarro Barraza

Leonel H. Ochoa Alejo

## 6.1 Antecedentes

Un requisito para que la medición de las variables hidráulicas (gasto, presión y nivel) y las financieras (cobro y facturación), se realicen correctamente, es verificar y corregir los errores de los valores que se obtienen con los equipos de medición y las lecturas que se toman de los micromedidores, así como el proceso de facturación (cargado de datos, procesamiento, tiempo de cobro). Esto es de suma importancia para la reducción integral de pérdidas. Ya que un correcto manejo de la información nos dará resultados fiables.

En este capítulo se explicarán los conceptos relacionados a los errores en la medición en campo, su calibración en laboratorio; esto con la finalidad de que tengan elementos que auxilien al personal que realice las mediciones.

## 6.2 Calidad de la información de medición y facturación

La medición y facturación no tienen su fin u objetivo en lograr tener medidores instalados, sino en monitorear frecuentemente las condiciones y generar datos, que luego de su acopio, validación, y manejo de manera inteligente, puedan transformarse en información útil, que a su vez sirva para orientar las acciones a seguir en la operación o planeación de los servicios de agua. La información, para considerarse como tal debe cumplir varias características, entre las que están: **pertinencia, confiabilidad, compatibilidad, consistencia y oportunidad** (normalmente requiere algunas otras características, que no se exponen aquí). Pertinencia para ayudar en las decisiones. Confiabilidad de estar razonablemente libre de errores. Compatibilidad para ver semejanzas o diferencias y responder a lo que se quiera conocer. Consistencia de concordancia periodo a periodo. Oportunidad de tenerla a tiempo y ser útil en las decisiones.

Una manera usual de sintetizar los miles de datos que normalmente genera un sistema de agua potable, y de hacerlos más comprensibles y útiles a los responsables de operar y controlar los servicios de agua y de

decidir nuevas acciones, son los Índices de Gestión del Sistema de Agua. Similarmente hay que monitorear, valorar y controlar la calidad de la información misma. Es decir, evaluar el desempeño del sistema de información (i.e. medición y facturación) para decidir si es apropiado: el nivel y frecuencia con que se leen los equipos o se hacen aforos; el número de equipos y su precisión; la capacidad técnica y habilidad del personal; así como la conveniencia de cierta organización, jerarquías y canales de transmisión de información. Entonces, conviene definir cuáles serán los indicadores del monitoreo de la información; lo que equivale a establecer y formalizar algunas "reglas del juego" o especificaciones para el uso y evaluación de los datos que se generen con la reducción integral de pérdidas. Podría ser sumamente riesgoso, pero desafortunadamente ocurre en muchos organismos que han invertido sumas considerables de dinero en equipos y sistemas de facturación, que todo el esfuerzo se deteriore y desperdicie en poco tiempo, simplemente por no haber propuesto acciones de capacitación, seguimiento y evaluación

En resumen, se debe contar con un sistema de medición y facturación que garanticen que se están realizando correctamente, aunque así no sea, es necesario conocer con que precisión se están realizando, con la finalidad de que el usuario tenga elementos de decisión en su gestión empresarial.

A continuación se explican algunos conceptos relacionados con la medición.

### 6.3 Conceptos básicos de medición

En primer lugar se debe destacar la imperfección de las mediciones y la facturación. No existe una medición perfecta que produzca siempre el mismo resultado. Los valores que se obtienen son todos diferentes con una dispersión mayor o menor, dependiendo de la calidad del medidor utilizado y la capacitación del personal que toma las lecturas, y verifica sus lecturas.

Una medición aceptable, de buena calidad es esencialmente una medición con errores de bajo valor. Por lo que se define exactitud, precisión y verificación de la precisión.

- a) Exactitud.- Es la cualidad de la medición que asegura que la medida coincida con el valor real de la magnitud considerada.
- b) Precisión.- Es la cualidad de la medición que representa la dispersión de los diversos resultados que corresponden a la repetición de mediciones casi iguales, en torno de un valor central. Está usualmente asociada al error normal. Una medición con una buena precisión produce resultados

con errores normales de bajo valor o una curva de la distribución normal bien cerrada.

- c) Verificación de la precisión.- Es la operación que verifica la exactitud de las indicaciones de un determinado equipo. Esta es realizada, usualmente, por su comparación con equipos de mayor precisión. Una verificación es pasiva pues no corrige los errores. El resultado final es una tabla de errores o una curva de corrección.
- d) Calibración.- Es la operación que corrige algunas lecturas de un determinado equipo. La corrección se efectúa a través de acciones que pueden ser el desplazamiento del puntero, cambio del resorte, etc., conforme sea la situación. La calibración debe efectuarse a partir de la curva de corrección levantada en la verificación.

La exactitud y precisión pueden expresarse por medios gráficos, los cuales permiten una buena asociación a los conceptos básicos. Como la exactitud y la precisión son dos cualidades independientes, un resultado puede ser:

- a) Exacto y preciso: correspondiendo a una buena calidad metrológica, situación más aconsejable.
- b) No exacto, pero bastante preciso: corresponde a un error constante o sistemático, generalmente eliminable.
- c) Exacto pero con poca precisión: corresponde a un proceso todavía aceptable, con mucha variación, que debe ser reducida.
- d) No exacto y con poca precisión: corresponde a un proceso pobre, que debe ser considerado inaceptable.

### 6.3.2 Independencia entre exactitud y precisión

Conviene mencionar que ha sido aceptado como algo verdadero que la exactitud y la precisión son cosas independientes. Esta independencia es real sólo dentro de ciertos límites, pues cuando la precisión degenera mucho, con resultados muy abiertos, es posible que afecte el valor promedio y, consiguientemente, la exactitud.

### 6.3.3 Índices de control del sistema de medición

En el cuadro 6.1 se presenta una lista de posibles indicadores de monitoreos del sistema de medición, agrupados según sus posibles tipos o aplicaciones.

## 6.4 Pruebas de precisión de micromedidores

Para efectuar las pruebas en los equipos de medición es necesario realizar pruebas de los equipos. Éstas pueden ser en un laboratorio que tenga las

Cuadro 1. Indicadores para monitoreo del sistema de medición.

Índice	Cálculo o descripción
<b>Equipamiento</b>	
Cobertura de medición Vol. (%)	Volumen medido / Volumen total estimado
Precisión promedio de los equipos (%)	Suma (Precisión de fabricación * N° equipos) / Total de equipos
Antigüedad media (años o meses)	Suma de edades de instalación / número de equipos
Volumen medio por medidor (m <sup>3</sup> /s./medidor)	Volumen medido / medidores instalados y operando
Zonificación de presiones (ha / manómetro)	Extensión de la red / manómetros fijos monitoreados
Control de niveles (km / limnómetro)	Longitud de canales o e.cueductos abiertos / número de estaciones de nivel
Grado de automatización (%)	Equipos registradores automáticos / Total de equipos instalados
<b>Mantenimiento y renovación de la medición</b>	
Eficiencia funcionamiento (%)	Medidores instalados funcionando / medidores instalados
Frecuencia del mantenimiento (acciones/mes)	N° de calibraciones o ajustes a macromedidores / 30 días
Frecuencia de fallas (desperfectos/año)	N° de fallas reportadas en el año
Días sin medición promedio (días/año /equipo)	Suma de días no medidos en el año* equipo / total de equipos funcionando
Días sin medición máximo (días/año /equipo)	Días no medidos en el mejor medidor funcionando
Días sin medición, mínimo (días/año /equipo)	Días no medidos en el peor medidor funcionando
Vida útil promedio de los equipos (años o meses)	Suma de vidas útil INICIAL de todos los equipos / número de equipos
Vida útil remanente de los equipos (años o meses)	Suma de vida útil ACTUALMENTE (remanente, estimada) / número de equipos ..... desglosado por tipo de equipo (volumétrico, presión, nivel, etc.)
Renovación de equipo (% / año)	Equipos nuevos de reemplazo / medidores instalados en el año
Equipo mas antiguo (años o meses)	desglosado por tipo de equipo (volumétrico, presión, nivel, etc.)
<b>Operación y capacitación</b>	
Frecuencia de lectura promedio (equipos/día)	Equipos medidos / 30 días
Peor frecuencia de lectura (días) o frac. máxima	N° días entre dos lecturas en el medidor menos leído
Mejor frecuencia de lectura (días u horas) o frac. mínima	N° días entre dos lecturas en el medidor mas leído
Frecuencia de entrenamiento (horas-empleado/año)	suma duraciones de cursos * asistentes / total empleados en macromedición
Supervisión y verificación (eforos/medidor-año)	N° de eforos para verificación en el año / total de equipos instalados
<b>Uso de la información</b>	
Frecuencia de generación de informes resumen .. balance (diario)	N° de informes en el año / 365 días
Frecuencia de actualización de gráficas de control o seguimiento de metas (días)	Gráficas o estadísticas de control en el año /365 días
Divulgación de informes (ejemplares / departamento)	Numero de copias / áreas de la empresa
Pérdidas de agua por fugas confirmadas (%)	Volumen distribuido / volumen suministrado
Mejora en reducción de pérdidas (%)	Nivel de fugas al inicio del periodo - nivel de fugas al final del periodo
Frecuencia de descontrol en presiones	N° de veces en que salió de la norma de presión (muy alta o muy baja) en planta de tratam o red distribución.
Frecuencia y monto de derrames en cisternas o tanques (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	veces / año y /o suma de derrames estimados / total de volumen demandado
Cantidad de la operación (%)	Días dentro de normas / 365 días
Número de normas de operación bajo control	suma (normas de do tación, normas de presión, en red, normas de niveles, normas de uso de cloro en plantas potab..
Cobertura de distritos hidrométricos y/o N° de estudios de fugas	Superficie bajo control / superficie total de la red
Abatimiento de niveles en pozos (matras /año)	promedio de diferencia de niveles en pozos monitoreados en el año (si es alto sugiere la necesidad de monitoreos mas frecuentes y estrictos)
Frecuencia de ajuste de modelos hidráulicos	Número de veces y de modelos, en que se han calibrado o actualizado en el año con datos reales
<b>Beneficios y Costos de la medición</b>	
Costo de operación (\$/año)	Suma erogaciones atribuibles al operación anual del sistema de medición
Costo de instalación por equipo (\$/equipo)	Erogación en adquisición e instalación de equipos nuevos / número de equipos nuevos (incluyendo accesorios, sensores, transmisores, piezas especiales, etc.)
Valor del agua rescatada (tarifa media por m <sup>3</sup> )	tarifa volumétrica en sector vivienda, para un consumidor promedio
Costo del agua rescatada ( \$/m <sup>3</sup> )	Costo de operación e inversión del sist. macromed. / volumen de agua que se hubiera perdido en fugas o derrames de no existir el sist. macromed.
Pérdidas por derrames atribuibles a fallas de operación (\$/año)	Estimación de volumen de agua realmente perdido por fallas de operación * tarifa media por m <sup>3</sup>

instalaciones adecuadas, o en campo siempre que se cuente con equipo apropiado.

#### 6.4.1 Pruebas de micromedidores nuevos

Los micromedidores nuevos son susceptibles de dañarse por defectos de fábrica o traslados al sitio de instalación. Las pruebas de precisión de los aparatos nuevos se desarrollan como se indica en la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCFI-93. La verificación de la exactitud se realizará comparando el registro en la carátula del volumen de agua que pasa por el medidor contra el volumen de la misma cantidad de agua recolectada en un depósito calibrado. La prueba se hará con un número suficiente de flujos que defina completamente la "curva de error" del aparato. Se deben realizar pruebas con intervalos pequeños de flujo en el "campo inferior" y mayores en los "campos normal y superior". Además, cada flujo se repetirá tres veces para aumentar la confianza en la prueba. El error de exactitud del medidor, expresado en tanto por ciento (%), se calcula con la expresión 6.1:

$$E = \frac{V_m - V_p}{V_p} \times 100 \quad 6.1$$

donde: E = Error de exactitud (+/-), en porcentaje  
 V<sub>m</sub> = Volumen registrado por el medidor, en litros  
 V<sub>p</sub> = Volumen del depósito calibrado, en litros

Las características de la calidad del agua que registra el micromedidor se dividen en cuatro categorías: a) Físicas (turbiedad, temperatura, color y olor); b) Químicas (pH, dureza, oxígeno disuelto, sólidos disueltos y conductividad eléctrica); c) Biológicas (bacterias y virus); y d) Radiológicas (radioactividad). La calidad del agua se determina midiendo el grado de impurezas en ella y su concentración se define en miligramos por litro (mg/l) o partes por millón (ppm). De todos los parámetros anteriores, los más comunes y que afectan más el funcionamiento hidráulico de los micromedidores son la alta turbiedad, el pH fuera de rango y la dureza por calcio y magnesio. Por ejemplo, la turbiedad es un indicador de que existen bastantes sólidos suspendidos y que pueden obstruir o depositarse en el cuerpo del micromedidor; un pH con valor menor que 6.5 tiende a provocar corrosión de las partes metálicas del aparato, un pH mayor que 8.5 y una dureza excesiva provoca incrustaciones.



#### 6.4.2 Pruebas de micromedidores instalados

Los micromedidores de agua potable instalados en los domicilios del sistema de distribución están sujetos al desgaste y deterioro de sus elementos por el funcionamiento y por la acción química del agua (corrosión e incrustación), conduciendo a deficiencia en la lectura reflejada en una pérdida de precisión del aparato.

*La prueba de micromedidores en campo es esencialmente la misma que para los aparatos nuevos, excepto que en lugar de usar un banco de pruebas calibrado, se utiliza una serie de dispositivos manuales portátiles previamente calibrados. Por disposición de tiempo o porque no es posible usar grandes cantidades de agua, las pruebas de campo se realizan verificando solamente la precisión para uno o dos caudales pequeños, menores al 5% del gasto nominal (por ejemplo para un medidor de 1/2 pulgada de 3 m<sup>3</sup>/h, se prueba con gastos menores a 2.5 l/min).*

Esta simplificación está del lado de la seguridad, puesto que para este porcentaje de caudal el error alcanza su valor máximo en la curva de error de precisión del micromedidor, como se muestra en la figura 6.1.

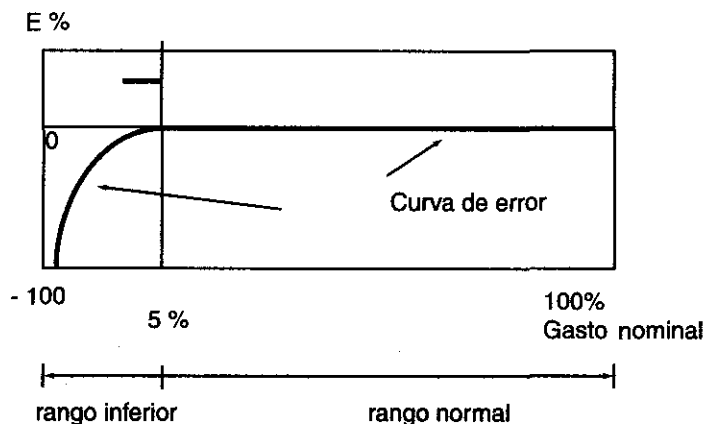


Fig. 6.1 Curva de error, límite de funcionamiento.

Las pruebas de campo de precisión deben ejecutarse con el micromedidor trabajando a presión constante positiva y la válvula de regulación de caudal debe ubicarse siempre del lado de la descarga del micromedidor. La evaluación de la calidad del agua en campo puede efectuarse de manera práctica, rápida y confiable, de la misma manera como se hace en la cuantificación de calidad del agua de las albercas, midiendo el pH y el grado de turbiedad con un clorímetro comercial.

### 6.4.3 Aplicación de pruebas en campo

La prueba de verificación de precisión de micromedidores instalados en campo se realizará según, atendiendo a las cuatro partes siguientes:

#### 6.4.3.1 Calibración de equipo utilizado en las pruebas

Todos los dispositivos y equipos utilizados en las pruebas deberán estar bien calibrados, por lo que se revisarán los aparatos una vez al inicio de cada semana, verificando los volúmenes, marcas, geometría, etc. El equipo mínimo requerido para la ejecución de pruebas es el siguiente:

- **Reloj digital** comercial, nuevo con precisión de una centésima de segundo.
- **Recipiente** de lámina galvanizada de veinte litros de capacidad con un bordo libre, compuesto de dos secciones cilíndricas: una de 30 cm de diámetro por 23 cm de altura, y otra de 15 cm de diámetro por 15 centímetros de altura, unidos con una transición cónica de 5 cm de altura. Se le conectará un tubo de plástico transparente en posición vertical y externo al recipiente para observar el nivel del agua sin perturbaciones. En la figura 6.2 se muestra el recipiente. El tubo exterior se deberá calibrar y graduar al decilitro (marcas a cada 1/2 centímetro aproximadamente) de manera que se pueda conocer el volumen dentro del recipiente con sola observancia del nivel del líquido en el tubo transparente.

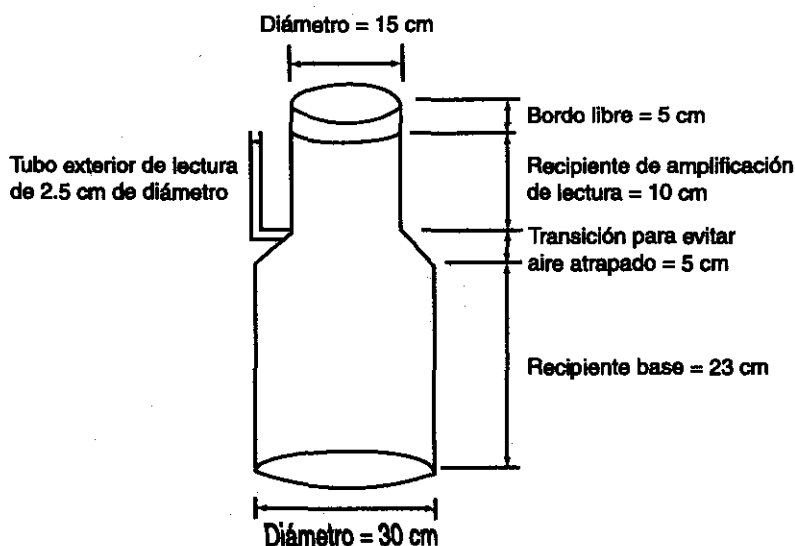


Fig. 6.2. Recipiente para verificación de volumen.

- **Probeta graduada** con aproximación de 50 mililitros, la cual deberá ser de material plástico transparente. La capacidad de la probeta deberá ser de dos litros, de manera que garantice tanto la calibración del gasto a 1 l/min como 2 l/minuto.
- **Dispositivo para calibrar el gasto de 1 l/min**, que consiste en un tramo de manguera de unos 60 a 80 cm, en un extremo de la cual se coloca una pieza roscada, con empaque de caucho, de manera que se pueda acoplar firmemente a la válvula de nariz. En el otro extremo se instala un manómetro, después una válvula de regulación de flujo, luego una válvula de esfera y finalmente un tubo en forma de "cuello de ganso". El manómetro será de glicerina, cuya carátula debe reflejar una rango que esté de acuerdo con las presiones de la zona en estudio. Esto quiere decir que si la prueba se efectúa en una zona donde las presiones de la red de agua potable no sobrepasa 1 kilogramo/cm<sup>2</sup>, por ejemplo, se deberá utilizar un manómetro cuyo rango esté entre 0 y 1 kilogramos/cm<sup>2</sup>. En las figuras 6.3 y 6.4 se muestra un esquema del dispositivo:

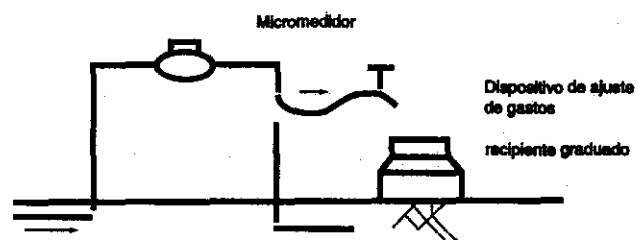


Figura. 6.3. Arreglo general en el cuadro de la toma domiciliaria.

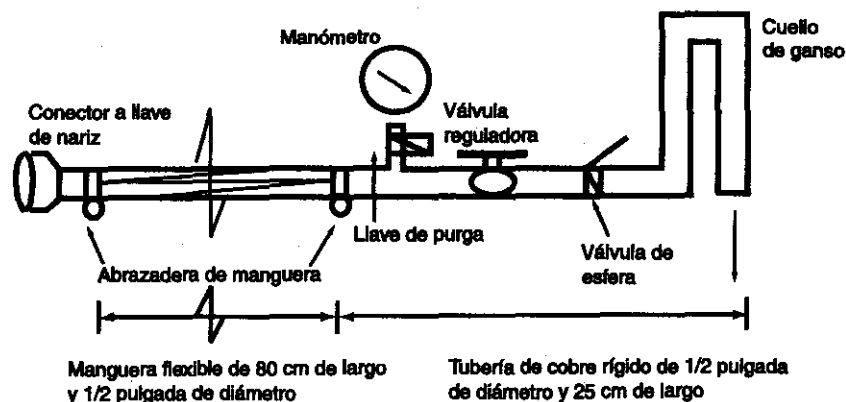


Figura. 6.4. Esquema del dispositivo de calibración de flujo.

- **Clorímetro** para revisar la calidad del agua de la toma domiciliaria, del tipo comercial para pruebas de pH y turbiedad en albercas. Está formado por dos tubos de vidrio de 5 a 10 cm, unidos y colocados sobre una base y graduados con marcas del valor de turbiedad y pH. Si no se consigue el clorímetro, se puede utilizar también tiras de papel comercial que reaccionan al contacto con el agua.
- Además de los elementos antes señalados la brigada que realiza la prueba debe estar provista de las herramientas necesarias para realizar alguna operación de plomería menor que se presente, una lupa de aumento para hacer las lecturas y material de papelería para efectuar las anotaciones.

#### 6.4.3.2 Llenado inicial de formatos y ajuste de parámetros

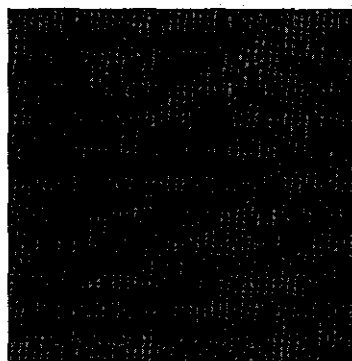
El formato se llenará de la siguiente manera:

**Contratista:** se pondrá el nombre de la empresa que lleva a cabo las pruebas.

**No. de lote:** se pondrá el número de lote al cual pertenece el medidor.

**Fecha de la prueba:** se escribirá la hora de inicio de la prueba.

También, se anotarán los datos siguientes del sitio donde está instalado el medidor, que se podrán tomar del padrón de usuarios, pero se comprobarán *in situ* el día de la prueba, momento en que además se complementarán con aquellos datos que no hayan podido obtener del padrón de usuarios:



Finalmente, se apuntarán las características del medidor, como son:

**Marca del medidor:** Se refleja la marca del medidor, impreso en el cuerpo del mismo.

**No. del medidor:** Se escribirá el número de serie que aparece impreso en el cuerpo del medidor.

Tipo de medidor: En este concepto se colocará la letra A para distinguir el tipo de medidor.

Diámetro del medidor (mm): Se tomará el padrón de usuarios y se comprobará en el momento de la prueba.

#### 6.4.3.3 Medición de la precisión del micromedidor

La medición de la precisión del micromedidor se efectuará de acuerdo con los pasos siguientes y los resultados de la prueba se anotarán en el **Formato foliado**, para establecer un control en la calidad de las mismas:

- a) Se revisa el cuadro para cerciorarse de que no existen fugas en ninguno de los elementos que lo integran y se realiza una evaluación del pH del agua de la toma domiciliaria, utilizando el clorímetro.
- b) Antes de comenzar la prueba, se anota la hora y se toma la presión, para lo cual se procede como sigue: se cierran completamente las válvulas de nariz y de paso instaladas en la toma domiciliaria, con el fin de cortar el suministro al interior del domicilio; se comprueba que el indicador de gasto bajo del medidor esté totalmente detenido, de no estarlo, quiere decir que existe una fuga en alguna de las válvulas; después se conecta *el dispositivo para calibrar el gasto* a la válvula de nariz y se abre en su totalidad junto con la válvula de paso, hasta que se expulse todo el aire (purga del dispositivo), para ello se utiliza la llave de purga conectada cerca del manómetro y se abre la válvula de regulación y se cierra la de esfera del dispositivo; y se toman las lectura de presión que aparece en la carátula del manómetro.
- c) Se procede a calibrar el gasto a 1 l/minuto, abriendo totalmente la válvula de esfera con un giro de 90 grados. Seguido, se coloca la probeta graduada en un lugar cómodo y **totalmente plano**. Después de comienza a manipular la válvula de regulación de flujo pasar un caudal pequeño y se lleva el extremo de la manguera hasta la boca de la probeta de manera que el líquido caiga dentro de la misma, poniendo a funcionar el cronómetro en el instante preciso en que cae la primera gota dentro de la probeta. En el preciso momento en que el cronómetro ha recorrido un minuto de tiempo, se cierra con un giro rápido la válvula de esfera y se hace la lectura en la probeta. La operación se repite, manipulando otra vez la válvula de regulación, hasta que se logre en la probeta un volumen exacto de un litro en un minuto de tiempo. A partir de este momento la válvula de regulación, con la cual se ha calibrado el gasto, permanecerá con esa abertura fija hasta el final de la prueba, cerrando y abriendo la válvula de esfera para cortar o dejar pasar el flujo. Es importante verificar durante la ejecución de la prueba la presión en el manómetro, dado que una variación de +/- 5 % del valor inicial anulará la prueba y deberá repetirse desde el inicio.

- d) Habiendo calibrado el gasto a 1 l/min, se deja fluir el agua hasta que la aguja analógica de la carátula del medidor llegue a un valor entero, momento en el cual se corta el flujo mediante el cierre rápido de la válvula de esfera. Se hace entonces una lectura del medidor y se anota en formato. A continuación se coloca el extremo del dispositivo de aforo en el borde del recipiente de manera que el agua caiga dentro del mismo y se abre con un giro de 90 grados la válvula de esfera. Se deja fluir el agua hasta que el nivel llegue a la marca de los 20 litros, momento en el cual se vuelve a cerrar la válvula de esfera y se realiza una segunda lectura en el medidor, al cual se anota en el espacio correspondiente del formato.
- e) Finalmente, se tomará una calca de la serie del medidor, grabada en el cuerpo del mismo; se hará una nueva lectura de la presión y se anotará la hora; y, llegado al acuerdo de que la prueba se ha llevado a cabo según las especificaciones descritas anteriormente se dará por concluida la prueba.

#### *6.4.3.4 Llenado del formato con resultados de la prueba*

Todas las operaciones que se lleven a cabo para realizar la prueba, se registrarán en la parte del formato correspondiente a "Resultados de la prueba (con un recipiente calibrado)", de la siguiente manera: a) Se anotará la lectura inicial del medidor (en el momento en que comienza a caer el agua en el recipiente); b) Se anotará la lectura final del medidor (en el momento en que el agua dentro del recipiente llega a la marca de los 20 litros); c) Se reflejara el volumen registrado por el medidor, igual a la diferencia de la lectura inicial; y d) Se anotará el volumen del recipiente.

#### *6.4.4 Análisis de errores*

En este apartado se determinan los errores que se pueden originar en la ejecución de las pruebas. En toda medición hidráulica existen tres tipos de error, a saber:

##### *6.4.4.1 Error accidental.- Debido a las acciones humanas*

El error accidental se disminuye haciendo con mucho cuidado las pruebas y desechando lecturas dudosas o mal tomadas, por lo que es conveniente que las operaciones de realización de la prueba de verificación del micromedidor se realicen con sumo cuidado y responsabilidad para garantizar su validez.

##### *6.4.4.2 Error sistemático.- Ocasionado por equipos mal calibrados*

El error sistemático se reduce seleccionando y calibrando apropiadamente los equipos e instrumentos de medición. La siguiente revisión y análisis

define el grado de error que se está imponiendo con el equipo utilizado en las pruebas. Cabe recordar que la precisión mínima aceptable de los micromedidores que se probarán es de 95 a 101% (-5% a 1% de error), para gastos de 1 l/min y de 98 a 101% (-2% a 1% de error) para caudales de 2 a 75 l/min, según se anotó en el primer apartado de este dictamen. Por esta razón, el análisis considera que **los errores provocados por los equipos o accidentes humanos deben ser en rigor inferiores al 1%, para garantizar la validez de las pruebas.** Además, la precisión de la carátula de lectura en el micromedidor de la marca más pequeña, corresponde a 1 decilitro, o sea **0.1 litro.**

Se requiere que no exista error por: a) Volumen insuficiente del recipiente; b) Mala aproximación de lectura en el reloj; c) Tiempo de maniobra excesivo; y d) Graduación inapreciable en el tubo exterior de lectura del nivel de agua. Los resultados al respecto se muestran en el cuadro 6.2:

Como se observa en la última columna del cuadro anterior, en todos los casos los errores ocasionados por la precisión de los equipos de medición o maniobras, son inferiores al error mínimo aceptable de precisión del micromedidor de prueba, por lo que se cumple con los requisitos al respecto para ejecutarlas.

#### 6.4.4.3 Error de exactitud.- Por las variaciones e inestabilidades del proceso físico

El error de exactitud se disminuye repitiendo varias veces la misma prueba en condiciones iguales. Debido a los tiempos de prueba y condiciones del sitio, la prueba solamente se realizará una vez, para un caudal de 1 litro/minuto constatando la **no variación de la presión** en la tubería. No obstante, cumpliendo con las condiciones marcadas en los dos incisos anteriores de cuidado en la ejecución y equipos calibrados se puede asegurar el éxito de las pruebas.

## 6.5 Evaluación del volumen corregido

De las mediciones que se realizan se obtienen características de volúmenes de agua, que sirven para realizar la cuantificación del suministro de agua, éstas son:

*Cuantificación del suministro de agua. Ajuste al suministro de agua.-* Error de medidores de la fuente de abastecimiento (+ o -), cambio en reservas y tanques de almacenamiento (+ o -).

*Estimación de consumos medidos autorizados.* Aquí se hace un ajuste por exactitud de medidores, éstos pueden ser residenciales, comerciales, industriales y especiales.

Estimación de pérdidas potenciales por mala facturación. Se realiza una evaluación del volumen que no se factura debido a lecturas equivocadas.

Todo lo anterior permite que se realice una gestión empresarial racional, por parte del organismo de agua potable, logrando que se incremente la eficiencia operativa y comercial, disminuyen costos por operación, y mejore el servicio al usuario, logrando una reducción integral de agua.

Cuadro 6.2 Errores de precisión para pruebas de verificación de micromedidores.

CONCEPTO ANALIZADO	CARACTERÍSTICAS GENERALES	PRECISIÓN ABSOLUTA	ERROR RELATIVO ESPERADO	PRECISIÓN ACEPTABLE DE LAS PRUEBAS
Volumen del recipiente	Recipiente de 20 litros de capacidad	Marca de lectura mínima en la carátula del micromedidor igual a 0.1 litros	+/- 0.05 litro entre 20 litros, igual a +/- 0.25 % de error	Dentro del rango de + 1% a - 5% , por lo tanto cumple
Aproximación de lectura en el reloj	Cronómetro digital con 100 centésimas de segundo	Marca de lectura mínima en el cronómetro igual a 0.01 segundo	+/- 0.005 segundo entre 1 segundo, igual a +/- 0.5 % de error	Dentro del rango de + 1% a - 5% , por lo tanto cumple
Tiempo de maniobra	Tiempo de llenado del recipiente con un 1 l/min igual a 20 minutos (1200 segundos)	Apertura y cierre de válvula de esfera de 2 segundo de duración	+/- 1 segundo entre 1200 segundos, igual a +/- 0.08 % de error	Dentro del rango de + 1% a - 5% , por lo tanto cumple
Graduación en el tubo exterior de lectura del nivel de agua	Altura del nivel de agua en recipiente de 40 cm para 20 litros.	Marcas de decilitro a cada 0.5 cm en el cilindro superior del recipiente de 15 cm de diámetro	+/- 0.25 centímetros entre 40 centímetros, igual a +/- 0.6 %	Dentro del rango de + 1% a - 5% , por lo tanto cumple

## Bibliografía

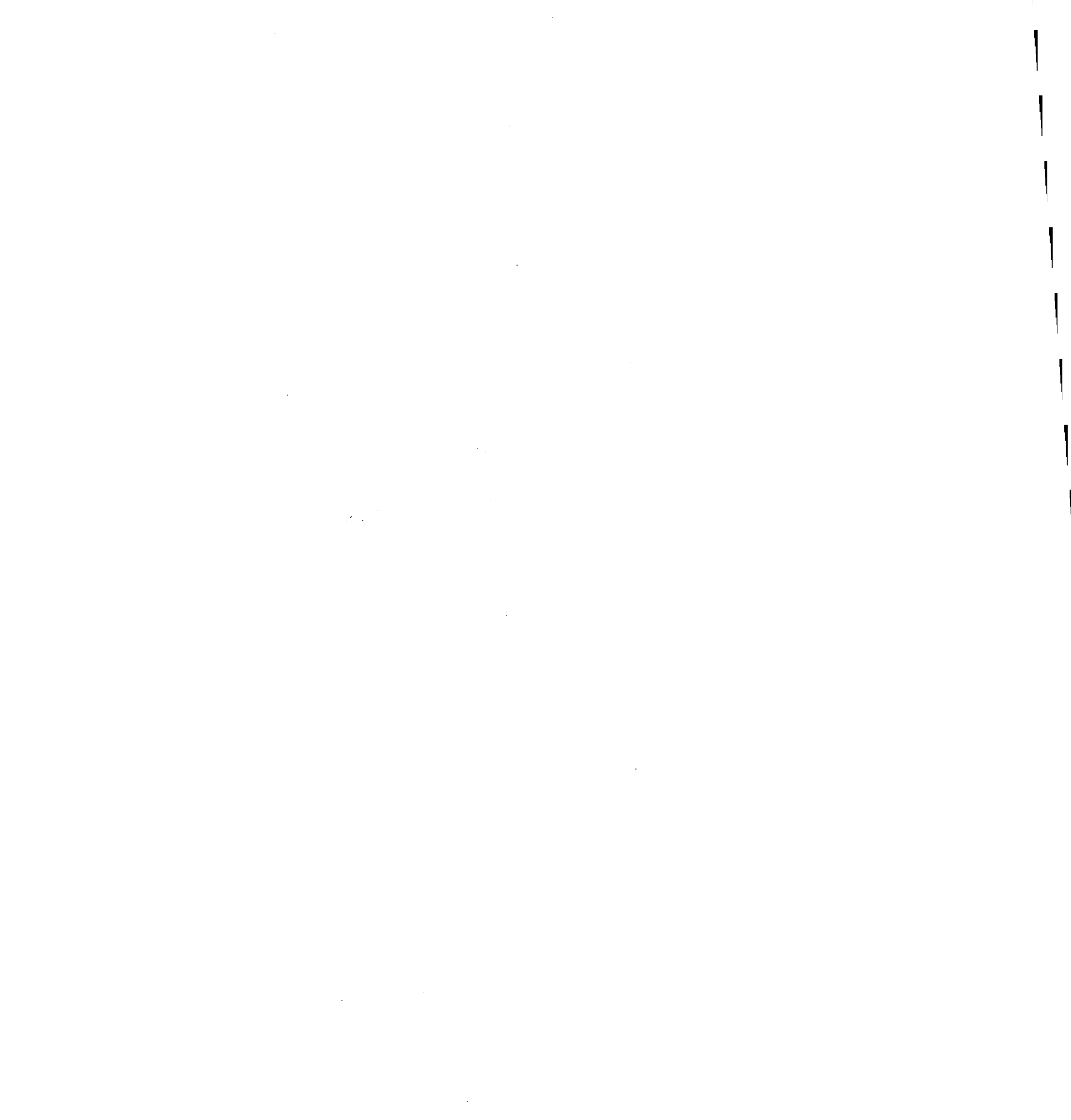
1. Herschy, R. W., *The Magnitude of Error at Flow Measurement Stations*, Technical Note No. 11, Water Resources Board, Reading 1971.
2. Shenck, *Theories of Engineering Experimentation*, McGraw-Hill, New York, 1961.
3. Topping, J. *Errors of Observation and their Treatment*, Published on behalf of the Institute of physics by Chapman and Hall Ltd, London, 1955.



4. Cabrera, E., Espert V., García-Serra, J., Martínez, F. *Ingeniería hidráulica, aplicada a los sistemas de distribución de agua*, Vol., 2ª edición, Valencia, España, 1996.
5. Ochoa, L., Bourguett, V., *Reducción integral de pérdidas de agua*, CNA-IMTA, Jiutepec, Morelos, 1998.

## **Parte IV**

### **Control de pérdidas de agua**



# Capítulo 7 Programa de control de pérdidas

Leonel H. Ochoa Alejo

## 7.1 Definición de objetivos

El objetivo principal de un proyecto de reducción de pérdidas de agua potable es reducir el nivel de estas pérdidas hasta un mínimo aceptable y mantenerlo así en el largo plazo, en condiciones de viabilidad técnica, económica, financiera e institucional. En este sentido, el programa de control de pérdidas tiene como objetivo específico sostener el desarrollo de la reducción de pérdidas de agua conforme se va logrando, por lo cual este programa debe guardar compatibilidad con el diagnóstico de pérdidas y con las acciones de eliminación y sectorización.

### *7.1.1 Determinación de las causas de la ocurrencia de pérdidas de agua*

Para realizar de una forma sistemática el programa de control de pérdidas, es necesario que definas las causas de la ocurrencia de estas pérdidas. Así, debes apoyarte en el análisis del diagnóstico de pérdidas y realizar una serie de fichas técnicas que describan los procedimientos que se practican normalmente en el organismo operador para conducir las actividades relacionadas con el control de pérdidas de agua.

Las fichas que debes elaborar son:

- a) Catastro de redes de distribución.
- b) Macromedición de captaciones y en red de distribución.
- c) Localización y reparación de fugas.
- d) Medición de consumos.
- e) Localización de usuarios no autorizados.
- f) Comunicación a usuarios.

Y las puedes elaborar haciendo una campaña de encuestas con los encargados de ejecutarlas y consultando la información que exista respecto a estas actividades. En la figura 7.1 se muestra un ejemplo característico de la ficha correspondiente a la localización y reparación de fugas.

Una vez que elabores todas las fichas técnicas y tengas el resultado del diagnóstico y de las modificaciones de sectorización de la red para facilitar la eliminación de pérdidas de agua, realiza reuniones con los encarga-

dos de los departamentos o personas de mandos medios que estén involucrados con el proceso de reducción de pérdidas. Junto con ellos, construye árboles de problemas para definir las causas que están originando el nivel de pérdidas de agua existentes.

Los árboles de problemas te van a permitir hacer un resumen esquemático de los efectos y causas del estado de pérdidas actual que tienes en tu sistema de agua potable. Para elaborar los árboles de problemas sigue los pasos siguientes:

#### FICHA TÉCNICA

Ficha sobre:
Departamento encargado:
Fecha:
Objetivo:
Situación actual:
Recursos humanos y materiales:
Comentarios:

Figura .7.1. Ficha técnica tipo, sobre localización y reparación de fugas.

- i) Potenciales actual y enmárcalo como el problema central. Descríbelo con pocas palabras.
- ii) Con base en la opinión de las personas reunidas e involucradas en el proceso de reducción de pérdidas, realiza una ramificación a partir del problema central, para cada una de las causas que están ocasionando dicho problema.
- iii) Ahora de cada causa, sigue derivando las causas consecuentes, haciendo ramificaciones sucesivas.

No olvides que al elaborar los árboles de problemas es importante considerar: a) que un problema no es ausencia de una solución, b) formular el problema como un estado negativo, c) identificar problemas existentes, no los posibles, ficticios o futuros, d) que la importancia del problema no está determinada por su ubicación en el esquema de problemas. En la figura 7.2 se muestra un ejemplo del desarrollo de estos árboles.

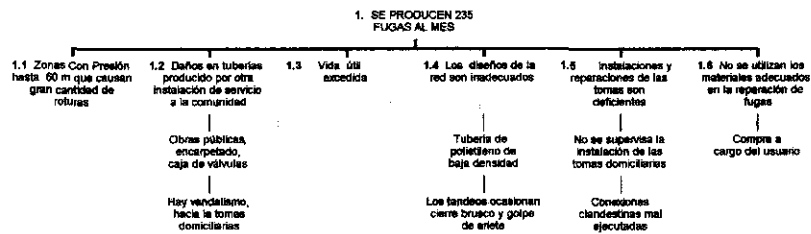


Figura 7.2 a. Árbol del problema de pérdidas de agua por fugas.

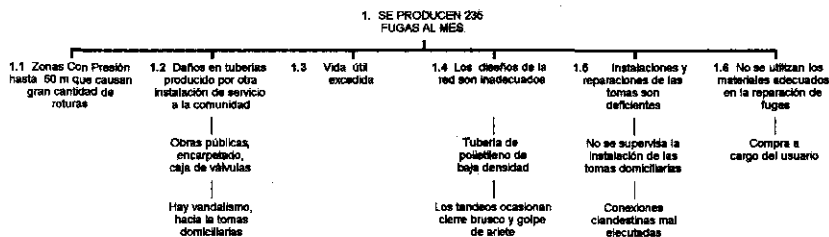


Figura 7.2 b. Árbol del problema de ocurrencia de fuga con mucha frecuencia.

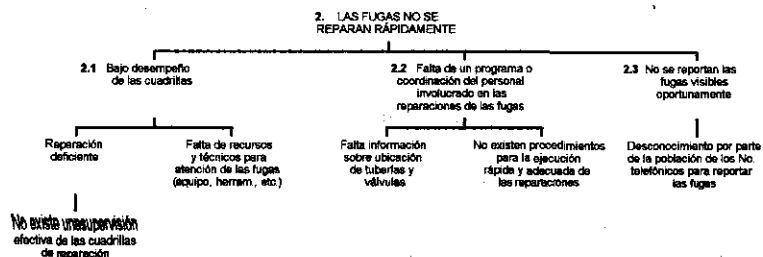


Figura 7.2.c. Árbol del problema de fugas reportadas que no se reparan con rapidez.

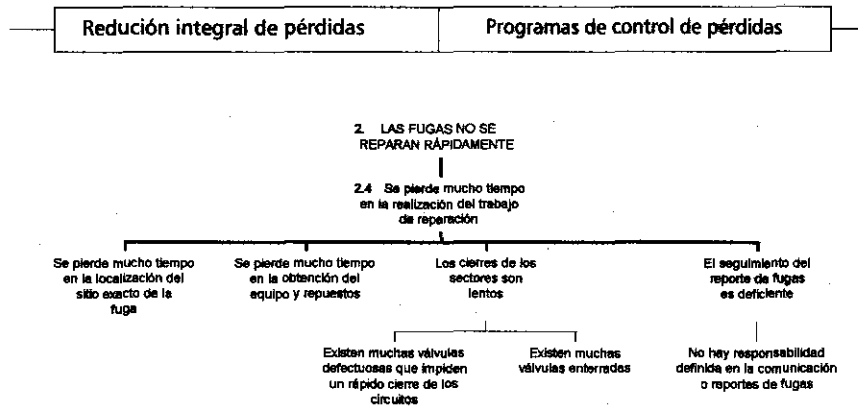


Figura 7.2 d (continuación). Árbol del problema de fugas reportadas que no se reparan con rapidez.

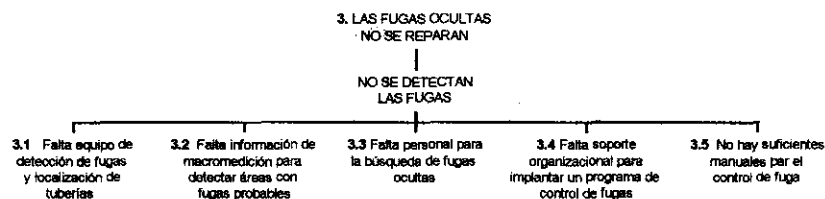


Figura 7.2 e. Árbol del problema de fugas ocultas que no son reparadas.

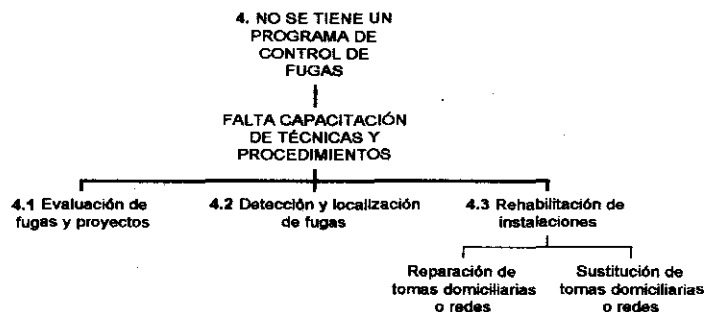


Figura 7.2 f. Árbol del problema de que no se tiene un programa de control de fugas.

### 7.1.2 Definición de las acciones a corto y mediano plazos

Con toda la información generada y analizada hasta este punto, como son volúmenes de pérdidas potenciales, diseño de la sectorización de la red, fichas técnicas y árboles de problemas, determina la contribución relativa de cada componente del sistema a la ocurrencia de pérdidas, así

como su influencia en los niveles de eficiencia del organismo operador. En consecuencia puedes ahora definir las acciones de solución, que pueden ser: 1) acciones a corto plazo y 2) acciones a mediano plazo.

- Acciones a corto plazo

Estas acciones introducen procedimientos modificatorios en el organismo operador, que te permiten comenzar los trabajos aún sin contar con la infraestructura completa de todo el proyecto de reducción de pérdidas de agua. Para su ejecución se requiere un estudio concreto, que repercutirá inmediatamente en la reducción del agua perdida. Las acciones de este tipo que son recomendables que realices son:

- La sustitución de tomas domiciliarias en los sectores de la red de distribución que presenten altos niveles de fugas y donde la factibilidad técnica - económica no requiera un profundo análisis.
- El reemplazo de líneas principales y secundarias de zonas más antiguas de la red, con altos índices de ocurrencia de fugas.
- La realización de encuestas de reparación de fugas visibles, durante la compostura de las mismas y conformación de estadísticas preliminares.
- La medición emergente de caudales de agua que se entregan a la población.
- El mejoramiento de la operación en algunos sectores de la red y el levantamiento de un catastro preliminar.
- La actualización inmediata de los consumos estimados de cuota fija.
- La asignación de un grupo de atención al público, para atender reportes de fugas visibles y errores en la medición de consumos domiciliarios.
- La instalación de micromedidores a un grupo de usuarios de altos consumos que están registrados con cuota fija.
- La adquisición de equipos detectores de fugas y localizadores de tuberías enterradas.

Las acciones a corto plazo que propongas de manera inmediata debes plantearlas independientemente unas de otras y estudiar su factibilidad en función de su beneficio/costo, considerando siempre que es prioridad la reducción de agua, a la de ampliar la capacidad con nuevas fuentes.

La elaboración, ejecución y supervisión de las acciones a corto plazo, se recomienda que sean desarrolladas y financiadas por las áreas correspondientes del organismo operador y después de concluidas, en su caso, asignarlas al grupo de reducción de pérdidas.



Finalmente, conviene hacer un informe de cada uno de las acciones, donde se describan el análisis de factibilidad, el diseño propiamente dicho, el diagrama de barras del calendario de actividades y las recomendaciones al grupo de reducción de pérdidas; para que sea considerado por ellos en el momento de elaborar el programa de reducción de pérdidas de agua del sistema de agua potable.

De acuerdo con los resultados de un ejemplo de balance de pérdidas, de diseño de sectorización y de los árboles de problemas, se plantea llevar a cabo las siguientes acciones en un tiempo de seis meses:

- Adquirir y probar dos equipos de sustitución de tomas domiciliarias (sistema de tensión).
- Implantar la adquisición y control de materiales, para reparación de tomas domiciliarias.
- Adquirir dos equipos detectores de fugas, para sondeo directo (Aqua Scope o similar), e iniciar con dos cuadrillas de dos personas, la búsqueda de fugas ocultas en tomas domiciliarias en forma sistemática.
- Acondicionar vehículos ligeros (trimotos) para independizar a las cuadrillas del vehículo que actualmente los distribuye, asignando a cada carro un equipo completo de herramientas, material de reparación de tomas domiciliarias y sus tareas fijas, deberá valorarse en campo la reducción de los tiempos de reparación y los beneficios obtenidos mediante la implantación de un sector piloto por parte del organismo operador.
- Sustitución de tomas domiciliarias de material de polietileno de alta densidad o cobre por tubería de cobre en aquellas que se reporten con fugas y su estado físico amerite el cambio.
- Iniciar un programa de mantenimiento preventivo y correctivo de micromedidores.
- Establecer las medidas recomendadas en manuales de atención al público.

• Acciones a mediano plazo

Son aquellas que no pueden ser desarrolladas inmediatamente, por requerir una infraestructura que obedece a un financiamiento permanente y que debe integrarse al esquema del organismo operador, tal como: diseño, adquisición y suministro de materiales y/o equipos, contratación de servicio a terceros, recursos humanos, técnicos, asignación de talleres, materiales, etc. Por ello, esas acciones necesitan una planificación integral, lógica y de precedencia técnica que considere todos estos factores.

En otras palabras, son las actividades que deberán conformar todos los subproyectos básicos y que serán ejecutados de acuerdo con el programa de reducción integral de pérdidas de agua potable del sistema.

En esta etapa, el organismo operador desarrolla un esquema nuevo y planifica cómo desarrollará sus autofinanciamientos, sus recursos humanos, instalaciones, políticas, que establezcan el nivel de agua perdida.

Las acciones que debes considerar a mediano plazo están relacionadas con los siguientes objetivos:

- Aumento de la eficiencia del sistema de mantenimiento de la red de distribución.
- Mejora de la calidad de los servicios.
- Promoción del adiestramiento y capacitación del personal.
- Alcance de una autosuficiencia financiera, con el cobro del servicio.
- Mejora del conocimiento de la infraestructura e instalaciones.
- Establecimiento de normas, políticas y especificaciones.
- Aumento del nivel de eficiencia en la operación y control del sistema de distribución.
- Reducción de los consumos de energía, potabilización y tratamiento.

En nuestro ejemplo, las acciones a mediano plazo están clasificadas en la "Etapa 1: Subproyectos básicos", de este escrito.

### *7.1.3 Determinación del objetivo del programa de reducción de pérdidas de agua*

Después de que hayas identificado y clasificado las acciones a corto plazo de las de mediano plazo, se procede a determinar el objetivo principal del programa de reducción de pérdidas de agua y sus objetivos específicos.

Entre los objetivos principales que puedes considerar se encuentran:

- Mejoramiento de la buena imagen institucional.
- Operación eficiente.
- Mantenimiento eficiente.
- Disminución de fugas a un nivel mínimo (por ejemplo al 20%).
- Implantación de los subproyectos básicos del control de pérdidas.
- Conocimiento de técnicas específicas en todas las áreas de trabajo.

En nuestro ejemplo, el objetivo del programa de reducción de pérdidas es reducir el nivel de pérdidas potencial actual del 56.21 %, al 15 % en un

plazo de tres años (fugas en tomas del 39.26 al 10%, fugas en líneas principales y secundarias del 11.86 al 3.5 %, y agua no contabilizada del 5.06 al 1.5 %), y mantenerlo en ese nivel con la infraestructura necesaria.

La ejecución del programa de reducción de pérdidas de agua deberá realizarse mediante un crédito externo puesto que con la generación interna de caja el objetivo no se alcanzarían en el periodo propuesto de tres años.

## 7.2 Etapa 1. Conformación de subproyectos básicos

Después de que definiste los objetivos del programa de reducción de pérdidas de agua, se diseña una estrategia, que consiste en proponer un grupo de trabajo que se encargará de supervisar la ejecución de las actividades y logros de este programa, y en caracterizar y jerarquizar los subproyectos básicos, identificando las metas correspondientes a los objetivos fijados.

### *Actividad 1.1 Conformar el grupo de trabajo para supervisión de la ejecución del programa de reducción*

Debes formar un grupo de trabajo dentro del organigrama del organismo operador para que atienda las actividades derivadas de la ejecución del programa. Su esquema de trabajo debes organizarla de tal manera que sea eficiente y eficaz en la localización y reparación inmediata y oportuna de cualquier pérdida que se produzca en las instalaciones del sistema de agua potable. Sus principales funciones que le puedes encomendar son:

- Establecer normas y procedimientos la operación y mantenimiento de redes, tomas domiciliarias, medición y facturación.
- Adecuar el área de operación y mantenimiento a las condiciones exigidas por el programa de reducción de pérdidas de agua.
- Establecer programas de entrenamiento del personal.
- Generar información y monitorearla para entrega de reportes y toma de decisiones, y dar seguimiento a las actividades y resultados del proyecto.
- Atender los diseños y cambios de operación que modifiquen la red por ampliaciones o reemplazos.

En nuestro ejemplo, la organización del grupo de trabajo se integró con los tres módulos que se muestran en las figura 7.3, 7.4 y 7.5

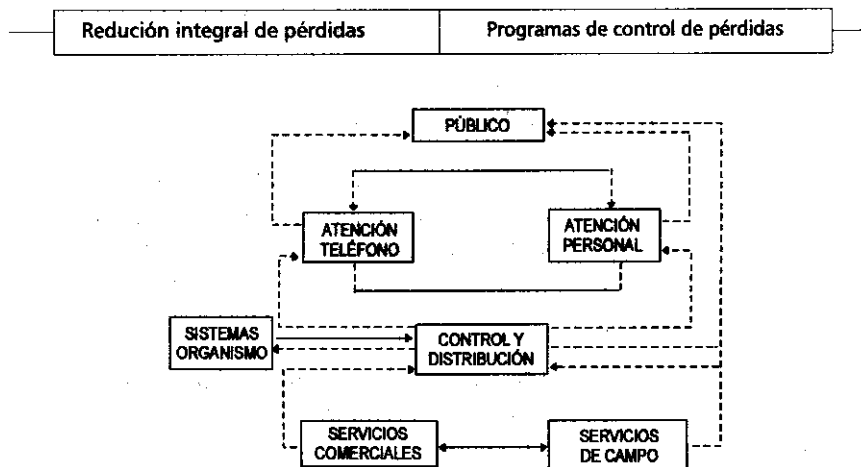


Figura 7.3 Módulo 1.- Organización técnico administrativa para mantenimiento de redes.

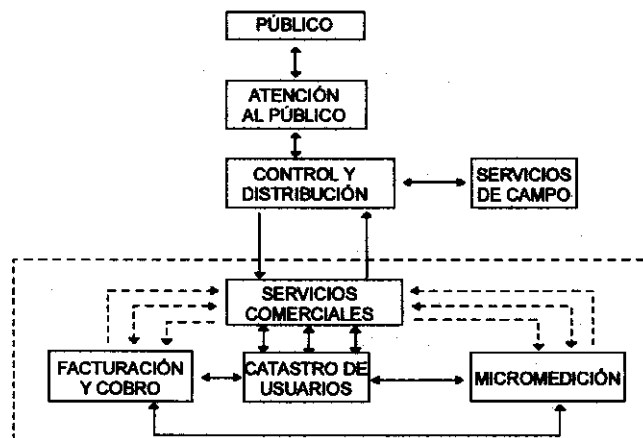


Figura 7.4 Módulo 2. Organización técnico-administrativa de servicios comerciales.

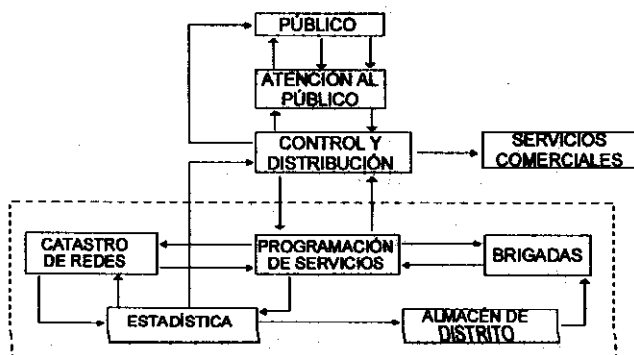


Figura 7.5. Módulo 3.- Organización técnico-administrativa de servicios de campo.

### *Actividad 1.2 Estructura los subproyectos básicos*

Los subproyectos básicos constituyen un conjunto de actividades que influyen en la estructura, en los sistemas organizacionales y en los recursos humanos y técnicos de un organismo operador, con miras a establecer las bases necesarias que afectan el desempeño del control de pérdidas de agua potable.

Cada subproyecto considerado está clasificado según el área del organismo operador que lo debe ejecutar, de la manera siguiente:

- **Proyectos de operación del servicio**
  - catastro de la red de distribución
  - catastro de instalaciones
  - hidrometría
  - macromedición
  - control de la operación del sistema
  - estadísticas de fugas
- **Proyectos de control de usuarios**
  - padrón de usuarios
  - micromedición y consumos
- **Proyectos de apoyo logístico**
  - desarrollo de recursos humanos
  - control de suministros
  - comunicación social

En nuestro ejemplo, con el fin de alcanzar el objetivo planteado, para el caso de la zona de la ciudad estudiada se han definido como proyectos básicos y prioritarios los siguientes:

- a) Catastro técnico de la red y de instalaciones.
- b) Macromedición y pitometría.
- c) Control operacional.
- d) Desarrollo de recursos humanos.
- e) Estadísticas y control de fugas.
- f) Padrón de usuarios.
- g) Determinación de consumos

Además, se diseñan y ejecutan atendiendo a la secuencia mostrada en la figura 7.6.

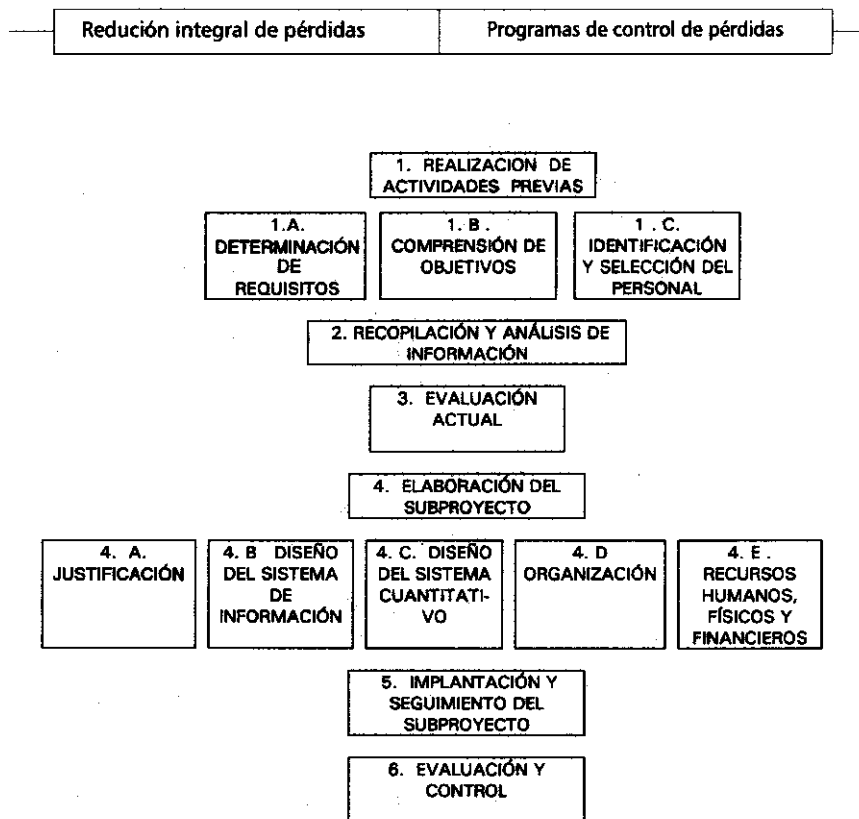


Figura 7.6 Elaboración y ejecución de los proyectos básicos.

Por ejemplo, para el caso del subproyecto de catastro de redes se diseña de la manera siguiente:

- i) **Actividades previas.-** Obtener un levantamiento planimétrico de la urbanización de la ciudad y contar con un conocimiento ordenado y oportuno del estado físico que guarda la red de distribución.
- ii) **Recopilación y análisis de información.-** Hay que identificar los planos existentes, sus escalas gráficas, su cobertura respecto al total de la red, el grado de actualización y el tipo de datos que contiene.
- iii) **Evaluación actual.-** Dictaminar las áreas que faltan por registrar en catastro; los datos de cruceros, válvulas y tuberías que aún no han sido incluidos; el nivel de confiabilidad; los procedimientos y personal destinado.

- iv) Elaboración del subproyecto.- Primero, se seleccionan las normas de ejecución del catastro (clasificación, escalas, simbología, etc.), los procedimientos de actualización y la información que contendrá el catastro (planos por sectores, fichas de cruces, registros de tramos, etc.); segundo, se enumeran los equipos localizadores, el *software* para digitalización y el equipo de cómputo que se utilizará; tercero, se selecciona o contrata al personal que se responsabilizará y que será asignado al área de operación; y por último, se definen espacios y se equipan cuadrillas para realizar la tarea correspondiente.
- v) Implantación.- Hay que capacitar al personal en el uso del *software*, adquirir los equipos localizadores de tuberías y herramienta menor, y comprar el equipo de cómputo.
- vi) Evaluación.- Se calculan los indicadores siguientes y se evalúan periódicamente:
- \* Porcentaje de cobertura del catastro = superficie de planos entre superficie urbana.
  - \* Porcentaje de actualización = Número de planos corregido entre número total de planos
  - \* Porcentaje de confiabilidad = Número de registros correctos entre número de registros.

Después de que realices el diseño de todos los subproyectos básicos necesarios, debes establecer su orden de ejecución en el tiempo, jerarquizando por alguna de las maneras siguientes:

- Con base en la relación beneficio - costo
- Atendiendo a la secuencia lógica y precedencia técnica de ejecución

a) Basada en la relación beneficio/costo (B/C)

La evaluación de la relación beneficio/costo tiene el propósito de demostrar el resultado económico financiero de los subproyectos.

Conceptualmente, se pueden distinguir los tres casos siguientes:

$B/C > 1$  Demuestra el incremento del rendimiento promovido por los subproyectos.

$B/C = 1$  Muestra que los subproyectos no surtirán efecto económico.

$B/C < 1$  Muestra que los subproyectos tendrán efectos negativos sobre el sistema de agua potable.

La manera de realizar el citado análisis beneficio/costo global se propone a continuación.

i) Evaluación de la situación del sistema antes del programa.

i-1) Ingresos del sistema (\$/mes) = R1

i-2) Costos administrativos y operacionales.

- Personal (directo o indirecto)
- Material para mantenimiento
- Productos químicos
- Transporte
- Servicios generales
- Energía eléctrica

TOTAL (\$/mes) = C1

ii) Evaluación o pronóstico de la situación posterior al (los) proyecto(s) del programa.

ii-1) Ingresos al sistema (\$/mes) = R2

ii-2) costos administrativos y de operación:

- Personal (directo e indirecto)
- Material
- Productos químicos
- Transporte
- Servicios generales
- Energía eléctrica, etcétera

TOTAL ( \$/mes)= C2

iii) Beneficio(s) de (los) proyecto(s) B

Los beneficios de las acciones previstas de los proyectos pueden provenir de dos resultados:



iii-1) Por incremento de los ingresos

iii-2) Por reducción de los costos operacionales

Así, se llega a la ecuación siguiente:

$$B = (R2 - R1) + (C1 - C2) \text{ en } \$/\text{mes}$$

iv) Costos de los proyectos.

Costo total

- Servicios de terceros (proyectos, obras y servicio).
- Material utilizado.
- Adquisición de equipos.

$$\text{TOTAL } (\$) = C_p^*$$

El costo  $C_p^*$  será evaluado en términos de un costo total en pesos con el objeto de correlacionarlo con los beneficios. Así, se define:

$$C_p = C_p^* \text{ Fam}$$

Fam = factor de amortización mensual de capital para una tasa de interés anual y un periodo de amortización en años.

v) Relación beneficio/costo (B/C)

La relación se obtiene por la ecuación:

$$B/C = B/C_p$$

b) Basada en secuencia lógica y de precedencia técnica

Esta forma de jerarquizar los subproyectos básicos puedes utilizarla como complementaria a la anterior. Se trata de definir la prioridad de ejecución de cada subproyecto en función de los prerrequisitos técnicos necesarios o su liga con otros subproyectos.

Debes tomar en cuenta que será conveniente primero implantar subproyectos con carácter correctivo que los de carácter preventivo, o bien, dar prioridad a subproyectos que impactan directamente en la reducción de pérdidas y ejecutar los demás a lo largo del tiempo. No obstante, los requerimientos y el nivel de pérdidas de agua existente también serán factores determinantes en la priorización. En el cuadro 7.1 se pre-

senta como ejemplo el grado de secuencia lógica indispensable para implantar el subproyecto de localización y reparación de fugas.

Cuadro 7.1. Grado de secuencia lógica indispensable para el subproyecto localización y reparación de fugas.

TÍTULO DEL SUBPROYECTO	PRERREQUISITOS A LA IMPLANTACIÓN DEL SUBPROYECTO	PÉRDIDAS FACTIBLES DE SER REDUCIDAS	RESULTADOS ESPERADOS
Localización y reparación de fugas y mantenimiento de la red de distribución y de tomas domiciliarias	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Control de la operación del Sistema de Agua</li> <li>- Catastro de Red de distribución para fines de detección de fugas de redes.</li> <li>- Catastro técnico de instalaciones para fines de eliminación de fugas en las demás unidades operacionales.</li> <li>- Padrón de usuarios</li> <li>- Pitometría como auxiliar en los trabajos de identificación de áreas críticas y evaluación de los resultados de detección y reparación de fugas.</li> <li>- Los trabajos de identificación de áreas críticas pueden prescindir de la pitometría en caso de que se tenga urgencia extrema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fugas</li> <li>- Consumos excesivos de proceso</li> <li>- Consumos extraordinarios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mejoras del suministro de agua</li> <li>- Satisfacción del usuario</li> <li>- Mejoras del servicio</li> <li>- Rentabilidad</li> <li>- Productividad</li> </ul>

### Actividad 1.3 Define las metas

Las metas las puedes definir de la manera siguiente:

- a) Divide el objetivo principal planteado, en objetivos específicos por periodos anuales.
- b) Después, identifica cuáles son los hechos que estarían concluidos en estos periodos.
- c) Define los indicadores correspondientes en cada periodo, que señalarán si se ha cumplido o no la meta; por ejemplo, el porcentaje de la cobertura del catastro de redes, el porcentaje de macromedidores instalados, etcétera.
- d) Revisa si una meta puede dividirse en un periodo más corto; de ser así, separa esta meta y a cada parte asígnale sus nuevos indicadores.

Entonces, construye una matriz de planificación de los subproyectos, compuesta de columnas y renglones a la manera como se muestra en el cuadro 7.2, y con el procedimiento siguiente:

Cuadro 7.2. Matriz de planificación de subproyectos básicos.

Concepto	Indicadores verificables objetivamente	Fuentes de verificación	Supuestos importantes
Objetivo superior			
Objetivo del proyecto			
Resultados o productos			
Actividades			

*Paso 1: Elaboración de una descripción integral del proyecto*

- a) El proyecto escogido se deriva del árbol de objetivos y es transferido a la primera columna vertical de la matriz de planificación (cuadro 7. 2). Se procede de la siguiente manera:
  - Avanzar de arriba hacia abajo.
  - Ponerse de acuerdo sobre un objetivo superior y un objetivo el proyecto.
  - Si es necesario, revisar la formulación en el árbol de objetivos y hacerla más precisa.
- b) El objetivo del proyecto presenta los impactos previstos o anticipa los beneficios del proyecto en forma de una condición futura claramente descrita. El objetivo del proyecto una vez alcanzado contribuye al logro del objetivo superior.
- c) Los resultados/productos son expresados en forma de objetivos que el jefe del proyecto debe alcanzar y sostener. Su impacto combinado debe ser apropiado, necesario y suficiente para alcanzar el objetivo del proyecto.
- d) Se anotan aquellas actividades que son necesarias para obtener los resultados/productos, teniendo en cuenta para asegurar la claridad:
  - No se anotan demasiadas actividades en detalle, sino que se indica la estructura básica y la estrategia del proyecto.
  - En contraste con los niveles de objetivos, se expresan las actividades en forma de acciones directas.
- e) Se da una numeración que ponga en relación las actividades con los resultados/productos. La numeración puede servir para indicar la secuencia de eventos o de prioridades.

**Paso 2: Determinación de los supuestos importantes**

- a) Se examina si las actividades conducen directamente a los resultados/productos esperados o si para ello debe tener lugar un acontecimiento adicional externo al proyecto (supuesto).
- b) Algunos supuestos importantes pueden ser derivados del árbol de objetivos; aquéllos que no habían sido incorporadas al proyecto.
- c) Asegurarse de que:
  - Los supuestos son formulados de la misma manera que los objetivos (en forma de una condición positiva).
  - Los supuestos importantes son descritos operativamente con tal grado de detalle (si es posible con indicadores) que pueda apreciarse con precisión si los requisitos externos se han cumplido.
  - Sólo se formulan supuesto importantes que son requisitos adicionales lógicos.
- d) Los supuestos que son importantes, pero improbables, se denominan supuestos no controlables y no pueden incluirse en el planeamiento.  
En caso de existir supuestos no controlables la planificación debe modificarse o será necesario abandonar el proyecto.

**Paso 3: Formulación de los indicadores**

- a) Los indicadores definen el contenido de los objetivos. Los indicadores deben contener:
  - El horizonte del proyecto
  - La región
  - El grupo beneficiario
  - Las instituciones contrapartes
- b) Los detalles en los indicadores permiten establecer en qué medida han sido alcanzados los objetivos en diferentes plazos. También se debe tratar de cuantificar los factores cualitativos; para este efecto se necesitan normalmente varios indicadores directos, igualmente, si es necesario, indicadores auxiliares.
- c) Cuando todos los contenidos de los objetivos han sido enteramente especificados se debe establecer cómo se les puede medir y aplicar en las cantidades requeridas.

- d) Un indicador es verificable objetivamente si diferentes personas que han usado el mismo procedimiento de medición obtienen los mismos resultados en forma independiente unas de otras.

**Paso 4: Descripción de las fuentes de verificación**

- a) Se establecen las fuentes de información que serán utilizadas para verificar cada indicador.
- b) La tercera columna de la matriz proporciona una descripción exacta de la información que debe conseguirse, la forma de obtenerla y en caso necesario indicar la persona encargada. Las fuentes de verificación deben recibir numeración correspondiente a la de los indicadores.
- c) Se revisan las fuentes de verificación fuera del proyecto en cuanto a
- La cantidad de información que contiene sobre la región y sobre los grupos beneficiarios.
  - Su confiabilidad, actualidad y accesibilidad.
  - Su composición y la forma de su obtención.
- d) En caso de no ser posible la identificación de fuentes apropiadas de verificación, fuera del proyecto, la información necesaria para verificar los indicadores debe ser recolectada, procesada y almacenada internamente, por el proyecto mismo.
- e) La recolección, elaboración y almacenamiento de la información en el proyecto mismo y las actividades individuales necesarias para ello, han de ser incorporadas en el renglón de actividades y calculadas en la especificación de insumos y costos.
- f) Los indicadores que no poseen fuentes apropiadas de verificación deben ser reemplazados por indicadores verificables.
- g) Los indicadores que son demasiado caros, con base en un cálculo de costos y beneficios deben ser reemplazados por controles más simples y baratos.

En nuestro ejemplo, las principales metas del proyecto de reducción de pérdidas se plantean con el fin de alcanzar lo dispuesto en la matriz de planificación que se muestra en los cuadros 7.3, donde se define el resultado esperado, los indicadores que permitirán hacer el seguimiento y evaluación de los logros, y las referencias de donde se pueden obtener los datos estadísticos para calcularlos.

Cuadro. 7.3. Matriz de planificación resultante en el ejemplo.

RESULTADOS	INDICADORES	FUENTE DE VERIFICACIÓN
1. Se dispone de información fidedigna y actualizada de las estaciones, tuberías, válvulas y accesorios que conforman el sistema.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- % cobertura de catastro técnico de redes (CTR) = Superficie en planos/superficie total urbana.</li> <li>- % cobertura del CTR = número de planos correctos/número de planos revisados.</li> <li>- % cobertura de catastro técnico de unidades O.9 (CTUO) = No. de unidades operacionales registradas/No. unidades operacionales existentes.</li> <li>- % confiabilidad del CTUO = No. de registros correctos/No. registrados.</li> </ul>	1. Archivos de catastro técnico. Archivo de catastro de redes.
2. Se conocen las variables hidráulicas del sistema y las condiciones que lo rodean.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- % cobertura de macromedición = Relación No. de puntos medidos/No. puntos necesarios (diseño, caudal, presión, nivel, volumen).</li> <li>- % funcionamiento = Relación instrumentos no funcionando/instrumentos no instalados.</li> <li>- % Macromedición en fuentes = vol. captado macromedido/vol. captado total.</li> </ul>	1.1 Supervisión en sitios. Registros e informes de las actividades estadísticas. Informe de avance de los proyectos.
3. Dispones de todas las unidades operacionales en condiciones de operación eficiente en todo momento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- % Disponibilidad = (No. unidad operable (U.OP) (prom. diario) No. unidades operacionales totales</li> <li>- incidencia de fallas = No. de fallas/año entre No. unidades operacionales.</li> </ul>	- Informe de planificación y programación.
4. Se ha establecido una organización adecuada.	- tiempo de atención promedio = sumatoria (hora de atención-hora de reportes entre No. de fallas.	- Reporte de campo.
5. Se ejecuta programa de mantenimiento preventivo.	- tiempo de rep. promedio = sumatoria (hora rep.-hora de atención) entre No. de reparaciones.	- Catastro técnico.
6. Se conoce la infraestructura existente.	- % cobertura G.T.U.O.P. = (No. UOP registradas) a 100 entre No. UOP total.	- Informes de supervisión.
7. La información se procesa y utiliza adecuadamente.	- % confiabilidad = (No. de registros correctos y completos) x 100-muestreo entre No. de registros.	
8. Se cuenta con suministro adecuado de repuestos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- inexistencia = No. requisiciones negadas entre No. de requisiciones.</li> <li>- intensidad mantenimiento = No. ordenes ejecutadas/año entre No. unidad operacional total.</li> </ul>	- Informe de entrada y salida de inventario.

Cuadro 7.3. Matriz de planificación resultante en el ejemplo (continuación).

RESULTADOS	INDICADORES	FUENTE DE VERIFICACIÓN
9. Se cuenta con instalaciones físicas adecuadas.	- % mantenimiento preventivo = No. ordenes ejecutadas de mantenimiento preventivo/año entre No. ordenes ejecutadas totales.	- Informe de actividades fijas.
10. Se cuenta con recursos técnicos adecuados.	- % atención = No. ordenes ejecutadas entre No. ordenes emitidas. - % costo = No. ordenes de mantenimiento entre costo de funcionamiento (OM / adec.)	- Informes técnicos.
11. El personal se desempeña satisfactoriamente.	- productividad = No. ordenes ejecutadas/mes entre No. empleados mantenimiento.	- Informe de la unidad de recursos humanos. - Informes de mantenimiento.
12. Se ha disminuido el volumen de fugas a un nivel aceptable.	- % de quejas por fugas = volúmenes por fugas entre No. quejas totales. - índice de pérdidas = $\frac{\text{vol. distribuido} - \text{vol. facturado}}{\text{vol. distribuido}} \times 100$	- Informe de quejas. - Informe de producción. - Informe de facturación.
13. Se ha disminuido la frecuencia de aparición de fugas.	- valor pérdidas físicas = otras pérdidas x costo unitario de producción. - No. de fugas	- Informe de facturación. - Informe de macromedición. - Informe de pitometría.
14. Se ha mejorado el proceso de reporte de fugas.	-	

Cuadro 7.3. Matriz de planificación resultante en el ejemplo (continuación).

RESULTADOS	INDICADORES	FUENTE DE VERIFICACIÓN
15. Se ha implantado un proceso de detección de fugas.		
16. Se ha agilizado los trabajos de reparación de fugas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No. de fugas ocultas detectadas x 100 entre No. de fugas reparadas.</li> <li>- longitud tubería inspeccionada/año.</li> <li>- No. de conexiones inspeccionadas/año.</li> <li>- productividad = No. de fugas reparadas/mes entre No. de empleados de reparación.</li> <li>- tiempo de reparación de fugas = sumatoria (hora de terminación-hora inicio del trabajo) entre No. de fugas reparadas.</li> <li>- costo unitario de reparación = costo total de reparación de fugas entre No. de fugas reparadas.</li> <li>- % de atención efectiva = No. de fugas atendidas entre No. de fugas reparadas.</li> <li>- tiempo de atención = sumatoria (hora inicio del trabajo - hora del reporte) entre No. de fugas reportadas.</li> <li>- % presupuesto = presupuesto para mantenimiento de redes y conexiones entre presupuesto de funcionamiento (mantenimiento y administrativo).</li> </ul>	
17. Facturar la mayor parte de lo que se consume.	- incremento del % de vol. facturado/vol. producido.	
18. Disponer de un catastro de usuarios completo y actualizado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- incremento del % de:</li> <li>- usuarios existentes/usuarios catastrales.</li> <li>- registros correctos/registros catastrales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Informe de catastro de usuarios.</li> <li>- Informe de facturación.</li> </ul>
19. Aumentar la micromedición efectiva.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- cobertura:</li> <li>- No. de medidores instalados/No. de conexiones.</li> <li>- confiabilidad:</li> <li>- No. de medidores funcionando /No. de medidores instalados.</li> <li>- taller de medidores:</li> <li>- No. de medidores revisados por mes.</li> <li>- No. de medidores reoperados por mes.</li> <li>- No. de medidores recibidos por mes.</li> <li>- No. de medidores desechados por mes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Informe de lectura (facturación).</li> <li>- Informe de taller de medidores.</li> <li>- Informe del departamento de medidores.</li> </ul>
20. Hacer estimación correcta de consumos no medidos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- consumo estimado promedio/consumo estimado promedio estudiado.</li> <li>- No. de estudios realizados/No. de estudios a realizar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Informe de optimización.</li> <li>- Informe de facturación.</li> </ul>



### 7.3 Etapa 2. Determinación de costos y programación de actividades

El proyecto de reducción de pérdidas queda terminado con el cálculo de cantidades y costos de las actividades individuales, con su calendarización y su presupuesto, como se observa en el cuadro 7.4.

Cuadro 7.4. Calendario de actividades del proyecto de reducción de pérdidas.

CONCEPTO	COSTO M	RECURSOS HUMANOS Y MATER.	CANTIDAD Y UNIDAD	AÑO 1		AÑO 2		AÑO 3	
				Ene. - Dic.	Ene. - Dic.	Ene. - Dic.	Ene. - Dic.	Ene. - Dic.	
Catastro de redes									
Pitometría									
etc.									
EROGACIÓN ANUAL									
EROGACIÓN TOTAL									

En los cuadros 7.5 se describe con mayor detalle cada una de las actividades que conforman estos proyectos, con sus respectivos costos totales, que suman en total \$ 12,203,000 (doce millones doscientos tres mil pesos 00/100 M.N.

Cuadro 7.5. Calendario y presupuesto del proyecto de reducción de pérdidas de agua potable.

No.	ACTIVIDAD	IMPORTE (miles N\$)	año 1	año 2	año 3
	<b>ACCIONES A CORTO PLAZO</b>	800	XX		
	<b>SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELIMINACIÓN DE PÉRDIDAS</b>	10,106	XXXXXXXXXX		
1.	<b>CATASTRO TÉCNICO</b>				
1.1	<i>Organizar sección de catastro técnico y de redes, definiendo sus funciones.</i>	4	X		
1.2	<i>Establecer los procedimientos que se implantaran para llevar el catastro técnico y el de redes, incluyendo las medidas de seguimiento y control.</i>	5	XX		
1.3	<i>Especificar cantidad y características de recursos necesarios para desarrollar las actividades del catastro (oficinas, personal, equipos, instrumentos, materiales, medios de comunicación, mobiliario y microcomputadora personal)</i>	4	XX		
1.4	<i>Seleccionar, contratar y capacitar personal necesario para la ejecución del proyecto. Si se requiere elaboración rápida, hacer licitación para contratación de servicios.</i>	54	XX		
1.5	<i>Recopilar, revisar, clasificar y registrar la información existente sobre las unidades operacionales en fichas técnicas.</i>	18	XX		
1.6	<i>Realizar levantamiento en campo de datos de unidades operacionales faltante y verificar la existente.</i>	36	X	XX	
1.7	<i>Diseñar y establecer el sistema de computo que permita la retroalimentación y actualización de planos y archivos técnicos.</i>	30	XX		
1.8	<i>Elaborar los planos generales de los sistemas en las escalas que han sido determinadas según necesidades de los usuarios de la información.</i>	120	XX	XXXX	

Cuadro 7.5. Calendario y presupuesto del proyecto de reducción de pérdidas de agua potable.

No.	ACTIVIDAD	IMPORTE (miles N\$)	año 1	año 2	año 3
1.9	<i>Dibujar los planos sectoriales en las escalas determinadas.</i>	50			XX
1.10	<i>Digitalización de planos.</i>	150		XXXX	XXXX
1.11	<i>Der seguimiento y control a la información, tanto de catastro técnico como de redes.</i>	50	XX	XXXX	XXXX
	<b>SUBTOTAL</b>	521			
2.	<b>MACROMEDICIÓN Y PITOMETRÍA</b>				
2.1	<i>Organizar el sistema de macromedición.</i>	10	XX		
2.2	<i>Evaluar macromedidores instalados y analizar información, planos y procedimientos existentes.</i>	75	XX		
2.3	<i>Desarrollar e implantar un sistema de información específico para datos de macromedición.</i>	130	X	XXX	
2.4	<i>Capacitar personal en instalación y mantenimiento de macromedidores, así como en el registro, análisis, procesamiento y divulgación de la información.</i>	165	XX	XX	XX
2.5	<i>Diseñar los puntos de macromedición de caudal, volumen, presión, nivel, variables eléctricas, tiempo, etc. Esto incluye: ubicación, grado tratamiento de los datos, selección de instrumentos, protección, etc.</i>	105	XX	XX	
2.6	<i>Adquirir los equipos de macromedición.</i>	560		XXXX	XX
2.7	<i>Instalar equipos de macromedición.</i>	85		XXXX	XX
2.8	<i>Iniciar el servicio con los registros, análisis, procesamiento y divulgación de la información.</i>	40		XXXX	XXXX
	<b>SUBTOTAL</b>	1,170			

Cuadro 7.5. Calendario y presupuesto del proyecto de reducción de pérdidas de agua potable.

No.	ACTIVIDAD	IMPORTE (Miles de N\$)	año 1	año 2	año 3
3	<b>CONTROL OPERACIONAL</b>				
3.1	<i>Procedimientos para establecer los programas y servicios de pitometría.</i>	73	XX	XX	
3.2	<i>Especificar y adquirir los equipos de pitometría y herramientas faltantes.</i>	200		XXXX	
3.3	<i>Capacitar personal de campo en el uso de instrumentos e interpretación de datos.</i>	85		XXXX	
3.4	<i>Diseñar y construir estaciones pitométricas necesarias.</i>	125	XX	XX	XX
3.5	<i>Realizar los estudios de pitometría necesarios para complementar el diagnóstico de los sistemas, tales como:</i> <i>a. Evaluación hidráulica de cada unidad operacional y de los macromedidores.</i> <i>b. Analizar el funcionamiento conjunto de la infraestructura en condiciones de rutina y de emergencia.</i> <i>c. Elaborar y calibrar un modelo de simulación de la red de distribución.</i> <i>d. Emitir recomendaciones para optimar el funcionamiento individual y conjunto de la infraestructura mediante rehabilitación, mantenimiento o control operacional.</i>	190		XX	XXXX
3.6	<i>Definir zonas de presión de acuerdo a las necesidades del servicio y condiciones topográficas del sistema.</i>	58	XX	XX	
3.7	<i>Recopilar, analizar, procesar y divulgar la información.</i>	72	XX	XXXX	XXXX
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>803</b>			

Cuadro 7.5. Calendario y presupuesto del proyecto de reducción de pérdidas de agua potable.

No.	ACTIVIDAD	IMPORTE (Miles de N\$)	año 1	año 2	año 3
4.	<b>DESARROLLO DE RECURSOS HUMANOS</b>				
4.1	<i>Divulgar los manuales de operación y capacitar al personal para su uso.</i>	95		XX	XX
4.2	<i>Evaluar, seleccionar y reubicar personal de acuerdo a las aptitudes.</i>	25	XX	XX	
4.3	<i>Mantener a las cuadrillas debidamente equipadas para la realización de su trabajo.</i>	150	XX	XXXX	XXXX
4.4	<i>Llevar estadísticas de los trabajos e informes reportados por las cuadrillas.</i>	80	XX	XXXX	XXXX
4.5	<i>Supervisar los trabajos realizados y velar por el cumplimiento de los procedimientos descritos en los manuales.</i>	218	XX	XXXX	XXXX
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>568</b>			
5.	<b>CONTROL DE FUGAS</b>				
5.1	<i>Implementación del control de fugas de acuerdo a lo propuesto en este documento.</i>	40	XX		
5.2	<i>Establecer un sistema de seguimiento del programa</i>	135	XX		
5.3	<i>Sectorización de la red de distribución para limitar presiones máximas.</i>	1'380	XX	XXXX	XXXX
5.4	<i>Sustituir conexiones domiciliarias deterioradas.</i>	3'900	XX	XXXX	XXXX
5.5	<i>Establecer coordinación formal con otras instituciones de servicio urbano. Enviar las copias del catastro de redes.</i>	35	XX	XX	XX
5.6	<i>Implementación de procedimientos de recepción, análisis, canalización y seguimiento de los reportes de fugas y reparaciones.</i>	335	XX	XX	XX

Cuadro 7.5. Calendario y presupuesto del proyecto de reducción de pérdidas de agua potable.

No.	ACTIVIDAD	IMPORTE	año 1	año 2	año 3
5.7	Gestionar ante TELMEX la asignación de números telefónicos fácilmente memorizable para atender reportes del público.	40	XX		
5.8	Capacitar al personal de recepción de reportes.	30	XX		
5.9	Promover la colaboración del público para el reporte de fugas mediante publicidad, procedimientos y acuerdos de coordinación.	240	XX	XXXX	XXXX
5.10	Establecer un programa de búsqueda de fugas por calle de acuerdo a informaciones de estadísticas de fugas.	65	XX		
5.11	Adquirir equipos detectores de fugas y localización de metales.	45	XX		
5.12	Integrar y capacitar cuadrillas de detección y localización de fugas.	30	XX	XX	
5.13	Ejecutar la búsqueda sistemática de fugas ocultas.	370	XX	XXXX	XXXX
5.14	Implantar programas de rehabilitación e instalación de válvulas.	280	XX	XX	XX
5.15	Establecer una reserva mínima de materiales de uso frecuente en tomas domiciliarias.	150	XX	XXXX	XXXX
5.16	Capacitar al personal en uso de planos, técnicas de reparación, uso de equipos y procedimientos de trabajo y reporte.	55	XX	XX	
5.17	Complementar las herramientas y equipo de cada cuadrilla. Establecer control para su resguardo.	100	XX		
5.18	Adquirir vehículos ligeros (trimotos) y acondicionados para cuadrillas de reparaciones menores.	170	XX	XX	
	SUBTOTAL	7'400			

Reducción integral de pérdidas

Programas de control de pérdidas

Cuadro 7.5. Calendario y presupuesto del proyecto de reducción de pérdidas de agua potable.

No.	ACTIVIDAD	IMPORTE	año 1	año 2	año 3
6.	<b>CATASTRO DE USUARIOS</b>				
6.1	Dibujar planos catastrales	185	XX	XXXX	
6.2	Integrar y capacitar personal de campo	105	XX		
6.3	Realizar censos de usuarios para actualización.	390	XX	XXXX	
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>680</b>			
7.	<b>DETERMINACIÓN DE CONSUMOS</b>				
7.1	Instalación de medidores al 100 %	400	XX	XXXX	XXXX
7.2	Integrar y capacitar personal de lectura.	65	XX	XX	
7.3	Reforzar la capacidad del taller de medidores.	50	XX		
7.4	Revisar y adecuar criterios y procedimientos de prueba de medidor.	28	XXXX		
7.5	Dar mantenimiento correctivo a medidores.	105	XX	XXXX	XXXX
7.6	Establecer programas de mantenimiento preventivo.	80		XX	
7.7	Capacitar personal de taller de medidores de campo.	55	XX		
7.8	Establecer medidas legales para evitar daños al medidor.	68	XX		
7.9	Identificar y registrar usuarios no medidos por ruta.	78	XX	XXXX	
7.10	Seleccionar y analizar muestras periódicas de usuarios medidos por zona y ruta para establecer consumos promedios.	80	XX	XXXX	XXXX
7.11	Realizar análisis comparativo entre usuarios medidos y no medidos por ruta.	42		XXXX	XXXX
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>1'061</b>			
	<b>TOTAL</b>	<b>1'741</b>			

\* Nota: El monto TOTAL no incluye el costo de los trabajos de sectorización (\$ 10,106,000) ni las acciones a corto plazo (\$800).

### 7.4 Etapa 3. Elaboración del esquema de financiamiento

Debes recomendar los procesos posibles de financiamiento y dejarlos escritos en el documento maestro del programa, como se ve en el cuadro 7.6.

Cuadro 7.6. Origen del capital del financiamiento.

CONCEPTO	MONTO TOTAL	ORIGEN DEL CAPITAL			
		Credito	Préstamo	Reinversión	Patrimonio
Catastro					
Pitometría					
Etc.					
TOTAL					

No debes olvidar que el tiempo juega un papel importante para determinar el valor del dinero. A pesar de tener el mismo valor nominal, \$ 1,000 de hoy "valen" más de \$ 1,000 en un año; ésto se debe al uso del dinero.

De esta manera, hay un concepto denominado interés simple, el cual se determina mediante el producto del capital inicial invertido, por la tasa de interés,  $i$ , y el tiempo,  $t$ , como se indica enseguida:

$$I = P i t \quad (\text{no hay reinversión de capital})$$

El monto se obtiene sumando al capital inicial,  $P$ , el interés ganado  $I$ .

También existe el interés compuesto, que se obtiene cuando al final de cada periodo de inversión, se suman los intereses obtenidos al capital y se vuelven a invertir. Esto es:

$$S = P (1+i)^n \quad (\text{se recapitaliza})$$

donde  $n$  es el número de periodos y  $S$  el capital final.

Finalmente, para obtener el pago periódico para amortizar una cantidad de dinero se aplica la siguiente expresión:

$$R = [1 - (1+i)^{-n}] / i$$

Con todo lo antes mencionado, debes determinar el impacto de las inversiones de capital en acciones para la ejecución del proyecto integral de



reducción de pérdidas de agua potable, debido a que repercuten directamente en las tarifas de agua potable. Entonces puedes utilizar un modelo de financiero para determinar cómo se amortizará dicha inversión en el transcurso del tiempo.

En nuestro ejemplo, se presenta en el cuadro 7.7 una estructura de financiamiento, que se propone sea la que se adopte, de tal forma que se obtenga la factibilidad del programa.

**Cuadro 7.7. Programa de inversiones y financiamiento propuestos.**

CONCEPTO	INVERSIÓN TOTAL	INVERSIÓN AÑO 1	INVERSIÓN AÑO 2	INVERSIÓN AÑO 3
Catastro técnico	521	171	205	145
Macromedición	1,170	215	652	303
Control Operac.	803	129	476	198
Recursos Humanos	568	100	243	225
Estad. Fugas	7,400	2,011	2,758	2,631
Padrón usuarios	680	297	383	
Deter. consumos	1,061	361	421	259
TOTAL	12,203	3,304	5,136	3,761

**NOTAS:**

- \* Las cantidades están dadas en miles de nuevos pesos.
- \* El catastro técnico implica la digitalización de la red y la actualización permanente.
- \* El costo correspondiente a los trabajos de sectorización de la red de distribución no se contemplan en este esquema financiero, por lo que habrá que elaborar una estructura por separado e integrarla a las corridas financieras.
- \* Las inversiones deberán realizarse mediante un crédito externo.

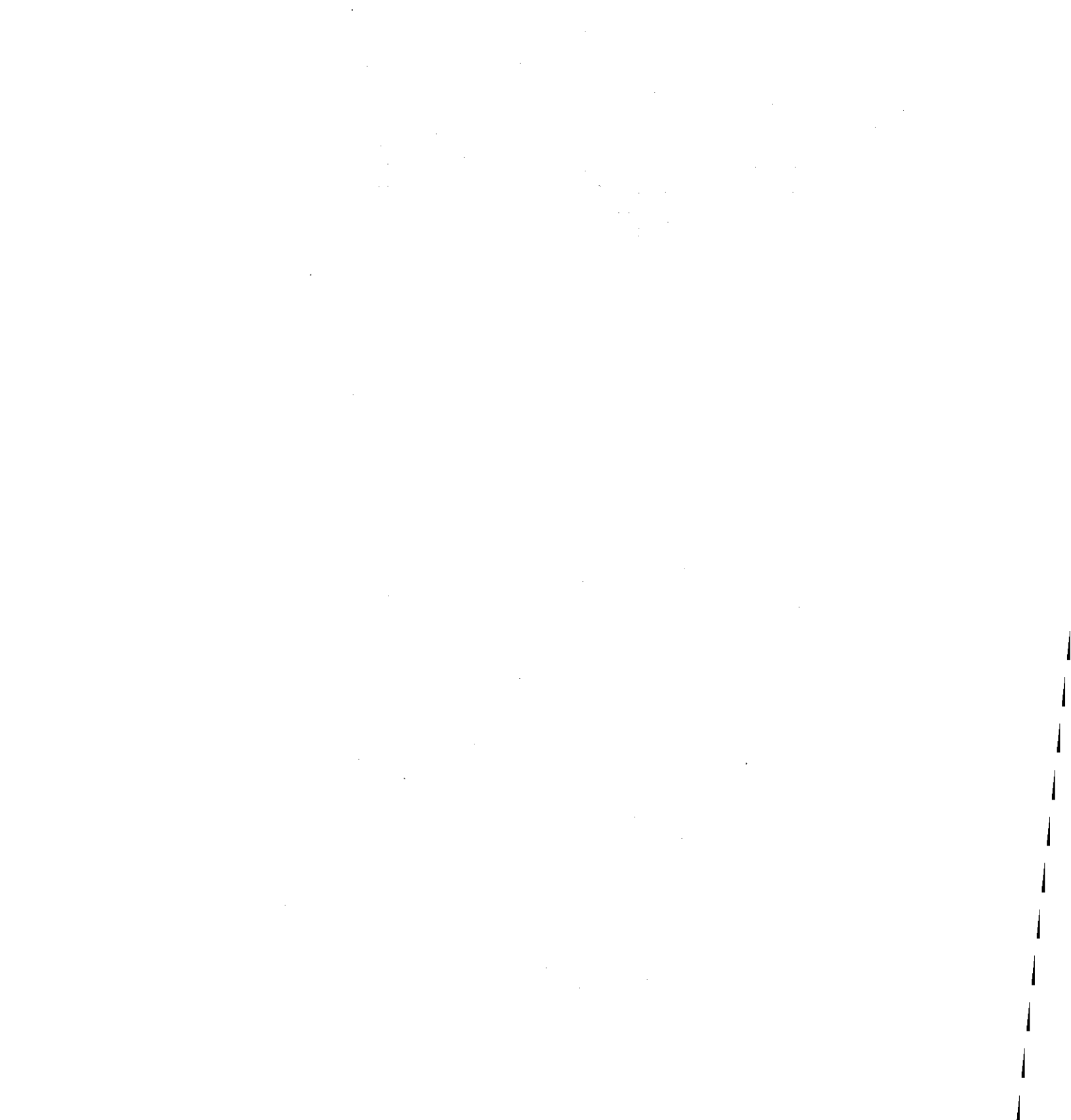
## 7.5 Realización de términos de referencia

Una vez que dispones del diseño ejecutivo de sectorización, de los subproyectos básicos y de las acciones a corto plazo, es necesario elaborar los documentos de concurso para la ejecución del proyecto integral.

Estos documentos generalmente se componen de:

- Catálogo de conceptos.- Contiene actividad, cantidad y unidad.
- Presupuesto base.- Incluye además del catálogo de conceptos, el precio unitario estimado y el costo de la actividad.

- **Planos ejecutivos.-** Sectorización y subproyectos.
- **Especificaciones técnicas.-** De equipos y materiales, así como de procedimientos constructivos en caso de ser necesario.
- **Calendario de ejecución.-** Indicando el periodo estimado para la ejecución de los trabajos.



## **Parte V**

### **Métodos auxiliares de la recuperación de pérdidas**



# Apéndice. Macromedición en sistemas de distribución de agua

Salvador Navarro Barraza

## a. Introducción

Conocer el funcionamiento de una instalación resulta fundamental a la hora de comprobar el correcto comportamiento de los elementos que la componen. Una parte importante del funcionamiento de los sistemas de distribución de agua son los elementos de medición de las diferentes variables hidráulicas: presiones, caudales y niveles.

En ocasiones, esta medición resulta imprescindible para el adecuado funcionamiento de una instalación. Por ejemplo, en aquellos mecanismos encargados de mantener una presión de alimentación constante sin los que la presencia de un elemento encargado de medir la presión haría imposible su funcionamiento.

Por otra parte, es bien sabido que el conocer los caudales que circulan por las líneas principales de una instalación –principalmente si ésta tiene cierta envergadura– ayuda a labores como la gestión y el mantenimiento de la misma. No menos importante es la necesidad de contabilizar los consumos de agua en las redes de distribución, ya que estas mediciones son en muchas ocasiones la base para realizar la facturación a los usuarios de un servicio como el abastecimiento de agua.

El objetivo fundamental de la medición de agua es presentar los dispositivos para la medición de las magnitudes fluidas principales (presión, caudal y nivel).

## b. ¿Qué es la macromedición?

La macromedición en un sistema de abastecimiento de agua, usa un conjunto de equipos medidores, graficadores y accesorios, y cuyo objetivo es “cuantificar los caudales captados, conducidos y distribuidos. Además, la macromedición es fundamental para una adecuada planificación, diseño, construcción, operación, mantenimiento y administración del abastecimiento de agua”, y es un instrumento indispensable en la ejecución de las siguientes actividades:

- i) Obtener la dotación per cápita real de sistemas y distintos sectores de abastecimiento de agua.

- ii) Determinar volúmenes y caudales de agua entregados en los sectores de producción y comparar la disponibilidad con la demanda de agua.
- iii) Obtener las presiones y los niveles de agua en puntos significativos de los sistemas de abastecimiento.
- iv) Obtener el equilibrio del suministro de agua en las diferentes zonas de presión, así como la homogeneidad de presiones en la red de distribución.
- v) Evaluar las condiciones hidráulicas reales de funcionamiento de los sistemas de abastecimiento de agua.
- vi) Planear y ejecutar los programas de mantenimiento preventivo y correctivo de conductos, redes, instalaciones electromecánicas y plantas de tratamiento.
- vii) Evaluar el tiempo de saturación de los sistemas en función de la evolución demográfica, socioeconómica y cultural de las comunidades.
- viii) Determinar los volúmenes de agua no facturados.
- ix) Determinar los componentes de las pérdidas en el sistema de distribución.
- x) Evaluar el sistema de micromedición existente, incluyendo el grado de adecuación de los hidrómetros domiciliarios al régimen de demanda de los usuarios, grado de exactitud, precisión y sensibilidad de los equipos y eficiencia de su mantenimiento.
- xi) Planear e implantar programas de micromedición.
- xii) Formular, implantar y controlar las políticas tarifarias de las empresas.
- xiii) Desarrollar programas para reducir costos.
- xiv) Tener estadísticas de las mediciones que permitan evaluar los programas de operación, mantenimiento y uso eficiente del agua, además de corregir y/o aumentar el programa de macromedición.

### c. ¿Qué es la micromedición?

La micromedición consiste en medir los consumos de agua de los usuarios con la finalidad de que puedan servir como base para realizar la facturación del abastecimiento y para establecer una gestión empresarial racional. Ésta puede definirse como el proceso gerencial, capaz de lograr sus objetivos en forma permanente al menor costo posible. La interpretación de este concepto, en el caso de un servicio de abastecimiento público de agua, conduce a los siguientes requisitos, cuyo cumplimiento asegura una gestión empresarial racional:

- i) El sistema de abastecimiento de agua debe proporcionar la **CANTIDAD** de agua necesaria para atender la demanda de los consumidores.
- ii) El agua suministrada debe tener la **CALIDAD** suficiente para satisfacer las normas de agua potable.

- iii) El abastecimiento debe ser **CONTINUO**, sin intermitencia.
- iv) El sistema de abastecimiento debe ser **CONFIABLE**, es decir que el personal de operación y mantenimiento tenga conocimiento y dominio de todas las variables que caracterizan el funcionamiento del sistema.
- v) El **COSTO** total capitalizado durante el periodo del proyecto (construcción, operación, mantenimiento, administración) debe ser el menor posible.

Estos requisitos caracterizan la siguiente regla nemotécnica que se usa para definir la racionalidad gerencial en un servicio de abastecimiento de agua: **CANTIDAD, CALIDAD, CONTINUIDAD, CONFIABILIDAD Y COSTO.**

Para cumplir con estos principios se requiere controlar (conocer las variables involucradas y tener la la posibilidad de intervenir para corregir desviaciones) todos los factores determinantes del funcionamiento del sistema, en particular caudales, presiones y niveles. Es aquí cuando la macromedición y la micromedición desempeñan un papel preponderante en el control de esos factores.

## **d. Mantenimiento de sistemas de macromedición**

### *d.1 Verificación de la precisión de macromedidores en campo*

Un trabajo organizado que verifique la precisión y calibración de los equipos de medición en campo es importante para garantizar la confiabilidad del sistema de macromedición. Es común que se presenten errores sensibles en los parámetros característicos proporcionados por los fabricantes. En un medidor tipo Venturi, por ejemplo, es posible la formación de tubérculos o la corrosión, lo cual puede alterar significativamente la relación entre el caudal y la presión diferencial; asimismo, la instalación del elemento primario no efectuada de acuerdo con las especificaciones de los fabricantes y normas técnicas puede producir errores.

La verificación de la precisión de los medidores en campo debe efectuarse con una programación elaborada experimentalmente de tal forma que impida que sean adoptadas frecuencias exageradas, o bien, que la precisión de las mediciones se vea afectada por la adopción de frecuencias inferiores a las requeridas. Una evaluación de los resultados se facilita y es más confiable cuando se usan impresos y formularios adecuados. Los resultados de las verificaciones efectuadas en campo deben ser divulgados en las áreas interesadas, para que se tomen decisiones cuando sea necesario.



La revisión y calibración de los medidores permanentes debe efectuarse utilizando aparatos portátiles (tubos pitot tipo Cole o Simplex) precisos y confiables. El error mínimo aceptado en los aparatos utilizados para revisión es el 2%, que puede verificarse periódicamente con ensayos del laboratorio de hidráulica. Los ensayos deben efectuarse cuando se adquieran los aparatos y con una frecuencia mínima de una vez cada dos años, si el uso es continuo.

#### *d.2 Revisión y calibración de medidores en talleres de instrumentación*

El taller de instrumentación es de importancia fundamental para que el sistema de macromedición funcione adecuadamente. Por más eficiente que sea el personal de campo siempre se tienen aparatos que requieren de un trabajo más preciso de análisis y calibración. Es necesario recordar que al retirar un aparato de campo para revisión y calibración en el taller, el punto de medición queda descubierto, a menos que se instale otro equipo similar o un instrumento portátil provisional.

El almacén encargado de abastecer el taller de instrumentación con piezas y materiales de repuesto debe ser eficiente; debe estar próximo al taller y no depender de procedimientos burocráticos complicados y lentos para proporcionar el material solicitado.

Frecuentemente, sin importar lo bien equipado que esté un almacén, algunas piezas o materiales no se tienen en existencia. El personal de macromedición debe conseguirlos. En estos casos la compra debe efectuarse de inmediato para no demorar los trabajos de revisión y/o calibración de los instrumentos. De cualquier forma, es deseable que el taller de instrumentación evalúe los desperfectos y ejecute las reparaciones con eficiencia y calidad.

El taller de instrumentación debe disponer de equipos tales como: instalaciones para simular presiones diferenciales, instalaciones para verificación de hidrómetros, herramientas, máquinas para soldar, herramientas para relojería, fuentes de corriente continua, balanzas de peso muerto, etcétera.

#### *d.3 Recursos humanos*

Por supuesto que los recursos humanos son parte fundamental de la estructura organizacional. A continuación mencionamos algunos aspectos específicos que deben ser considerados para el personal que trabajará en el área de macromedición.

No hay duda de la importancia y necesidad del adiestramiento. Sin embargo, el área de medición tiene una gran limitación en ese aspecto. Si consideramos que es realmente reducido el número de entidades que pueden ofrecer entrenamiento de medición en las propias empresas, la tendencia es sólo la actualización de conocimientos. En caso de iniciar una nueva actividad en la compañía (por ejemplo, pitometría) no será sencillo obtener entrenamiento para el personal. Es necesario, por tanto, que la empresa que presenta un proyecto de macromedición tenga previstos todos los detalles del entrenamiento que se impartirá al personal en diversos niveles (técnico, profesional, etc.) y el grado de formación requerido (perfeccionamiento y actualización) de acuerdo a las necesidades.

Se debe considerar la actualización del manual de clasificación de cargos cuando haya necesidad de nuevas contrataciones para el desarrollo de las actividades que no realiza la compañía en el área de macromedición. Se deberá tener cuidado especial en establecer los requisitos para los cargos que requieran condiciones especiales de aptitud, percepción visual, coordinación psicomotora, etcétera. Lo anterior no quiere decir que los nuevos cargos deben ser satisfechos cuando se presente el proyecto, pero deberán estar debidamente establecidos e incorporados al cuadro de cargos y salarios de la empresa.

## **e. USO DE LA MACROMEDICIÓN PARA LA OPERACIÓN**

### *e.1 Macromedición aplicada a la operación*

La operación de los sistemas de abastecimiento de agua debe ser programada y ejecutada con base en datos hidráulicos reales, proporcionados por los equipos de macromedición. Se debe evitar la operación realizada empíricamente, pues en la mayoría de casos es muy costoso y deficiente. Los gráficos obtenidos de los aparatos registradores, así como los datos obtenidos de aparatos indicadores y totalizadores, deben ser transferidos a sistemas prácticos de almacenamiento de datos. El almacenamiento de datos puede ser en forma de tablas, gráficos, etcétera, archivados en expedientes de fácil localización y acceso o en memoria de computadora.

Deben establecerse reglas de operación del sistema de abastecimiento de agua en función de los resultados del análisis de los datos obtenidos por los aparatos del sistema de macromedición. El personal de operación debe adquirir, a través del tiempo, un alto nivel de confianza en los datos obtenidos por los aparatos del sistema de macromedición. Esa confianza será una realidad que estará en función de la confianza en el funcionamiento de los aparatos que integran el sistema de macromedición.

### *e.2 Calidad y cantidad de macromedidores*

Los aparatos del sistema de macromedición deben proporcionar los parámetros suficientes para una evaluación hidráulica del sistema de abastecimiento de agua. El índice de fallas de los aparatos debe ser pequeño para asegurar la información continua de la operación. Se define como índice de fallas al porcentaje de tiempo en que los aparatos no funcionen en relación con el tiempo total de funcionamiento de los mismos. Todos los puntos importantes del sistema de abastecimiento de agua (captación, conducción y distribución) desde el punto de vista de operación, deben ser provistos de medidores adecuados.

### *e.3 Experiencia local*

Tomando en cuenta que la empresa no siempre tiene experiencia en macromedición –o tiene una experiencia incompleta o negativa– es necesario que se verifique, previamente, el potencial de apoyo existente a nivel local. Algunos de los factores que deben revisarse son:

- i) En la propia empresa: personal con experiencia, áreas específicas de experiencia (pitometría, instrumentación, etc.), resultados obtenidos en macromedición, inconvenientes presentados.
- ii) En las firmas consultoras: proyectos elaborados, características de los mismos, resultados obtenidos, personal especializado.
- iii) En los proveedores: clase, marca y tipo de aparatos y equipos de pitometría, detectores de fugas, detectores de metales; determinar si son fabricantes o representantes y las posibilidades de que proporcionen entrenamiento.
- iv) En los centros de enseñanza: entrenamiento a nivel profesional (universidades e institutos tecnológicos), entrenamiento a nivel medio (escuelas técnicas) y personal especialista en instrumentación (p.e. industria petroquímica).

Tanto el resultado de la revisión efectuada como los datos y las informaciones obtenidas, debidamente clasificados, deben ser archivados para consultas posteriores.

## **f. Medidores de caudal**

Algunos grupos principales de equipos de medición de flujo presión y nivel de agua presentan características determinadas que permiten seleccionarlos de forma compatible con las características del punto de medición, así como de los objetivos de medición.

Si la agrupación de los medidores se efectúa considerando sus aplicaciones, limitaciones, ventajas y desventajas de uso, se tiene la base para seleccionar los medidores para cada clase de sistema de abastecimiento de agua. Son muchos los sistemas propuestos para la medida de caudales, quizás por la dificultad en encontrar un aparato que combine una buena precisión en un amplio rango de medida con su facilidad de instalación y bajo costo. En general, la determinación del caudal se realiza a partir de determinar la velocidad media de circulación del fluido por el interior del conducto y tener en cuenta la sección del mismo. Los medidores de caudal se encuentran presentes, en una gran mayoría, en las instalaciones de distribución de agua.

### f.1 Medidor de placa de orificio

Los medidores de placa de orificio son capaces de medir el caudal detectando la presión diferencial entre dos puntos. La expresión simplificada del caudal  $Q$  que se obtiene con este tipo de medidores viene dada por:

$$Q = k\sqrt{\Delta H} \quad (f.1)$$

Donde  $\Delta H$  es la diferencia de alturas de presión del fluido o presión diferencial, y  $k$  es una constante que depende de los diámetros de la placa y de la tubería. Si las mediciones se realizan con un purgado adecuado y después de haber calibrado adecuadamente el diafragma, pueden llegar a conseguirse precisiones, durante el funcionamiento normal del instrumento, del orden del 1 al 2%. En definitiva, se trata de un instrumento cuya utilización requiere ciertos cuidados y que en la práctica habitual de los sistemas de agua es muy frecuente, pero su éxito depende de atender las recomendaciones.

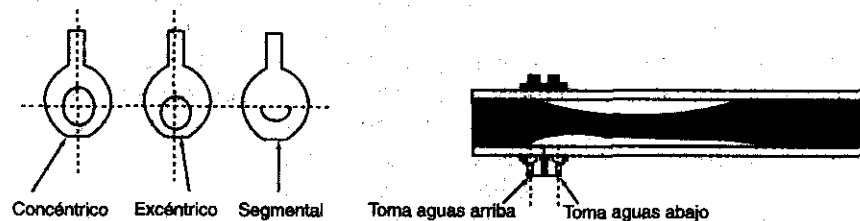


Figura. f.1 Disposición y formas de medidores de caudal placa-orificio

### f.2 Rotámetros

El rotámetro es el nombre registrado por la marca ROTA, mediante el cual se designan los caudalímetros que genéricamente se conocen como "flotadores de sección variable".

El principio de funcionamiento del rotámetro implica que a cada caudal de circulación corresponde una posición de equilibrio. El diseño variable de la sección interior del rotámetro se practica buscando una relación lineal entre el caudal y la posición de equilibrio del flotador. En general, los rotámetros son instrumentos limitados a bajos caudales cuyo montaje debe realizarse verticalmente y en general para aplicaciones en las que se requiera un conocimiento de la medición, pero sin excesiva precisión.

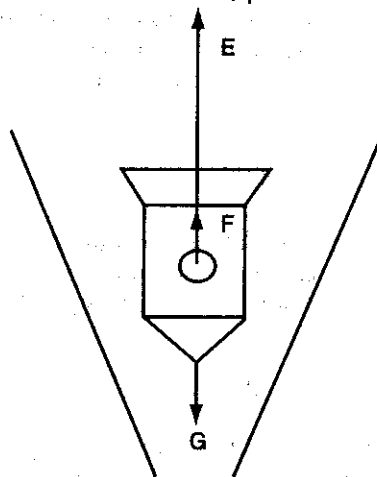


Figura. f.2. Principio de funcionamiento del rotámetro.

### f.3 Medidor de caudal ultrasónico

El caudalímetro ultrasónico es, quizás, una de las variantes tecnológicas en la medición de caudal en redes de distribución de agua que más auge ha adquirido en los últimos tiempos. De hecho, para diámetros de tamaño elevado (del orden de 1 m o más) comienza a resultar la alternativa económicamente más aceptable de las existentes en la actualidad. El funcionamiento de estos medidores ultrasónicos, de los que existen diversas variantes, se basa en el principio físico mediante el cual la velocidad del sonido al propagarse por un medio en movimiento experimenta una ligera variación respecto a si el medio estuviese en reposo. Cuanto mayor es la variación de la velocidad del sonido, mayor será la velocidad del medio y viceversa. Se trata, pues, de considerar la variación de la velocidad del fluido —en este caso agua— en circulación. Una vez establecida esta velocidad (media) de circulación y conociendo la sección del conducto, la obtención del caudal resulta inmediata.

Basados en el mismo principio de funcionamiento es posible encontrar tres tipos característicos: caudalímetro ultrasónico de efecto Doppler,

caudalímetro ultrasónico de tiempo de tránsito y de diferencia de frecuencias.

### f.3.1 Caudalímetro de efecto Doppler

El principio de funcionamiento de estos caudalímetros es la variación que experimenta la frecuencia de un haz de sonido al ser emitida (o reflejada) desde un objeto móvil (en este caso el fluido), y ser observada ésta desde un receptor u observador que se encuentra fijo en todo momento.

El esquema de funcionamiento recoge la presencia de un emisor en la parte externa de la tubería, encargado de enviar un tren de ondas sonoras hacia la corriente fluida. En este punto resulta fundamental que la corriente fluida disponga de cierta cantidad de partículas sólidas de suspensión o, en su defecto, que disponga de un flujo abundante de burbujas de aire arrastradas por la corriente. Es la presencia de objetos la que hace reflejar el tren de ondas sonoras. La frecuencia del tren de ondas sonoras reflejado es el medido por el receptor (observador) fijo que se encuentra en el mismo módulo que el emisor inicial.

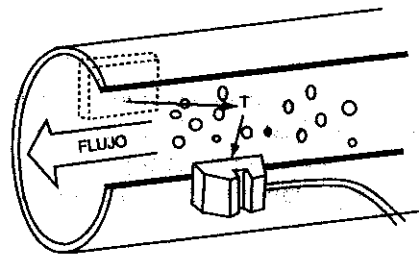


Figura. f.3. Principio de funcionamiento de un caudalímetro ultrasónico tipo Doppler.

La relación entre la diferencia de frecuencias del el tren sonoro del emisor y del tren sonoro que recoge el receptor viene dada por la expresión:

$$\Delta f = 2f_1 \frac{V}{c} \quad \text{f.2}$$

donde  $\Delta f$  es la diferencia de frecuencias medida,  $f_0$  es la frecuencia incidente sobre las partículas de la corriente,  $V$  es la velocidad de las partículas sobre las que se refleja en tren de ondas (admitida igual a la velocidad media del fluido en la sección), y  $c$  es la velocidad del tren de ondas (velocidad del sonido) en el medio en reposo. La relación anterior es lineal entre la magnitud medida por el instrumento  $\Delta f$  y la velocidad  $V$  del fluido.

### f.3.2 Caudalímetro de tiempo de tránsito

Los caudalímetros ultrasónicos de tiempo de tránsito miden la diferencia de tiempos que tarda una misma onda sonora en recorrer la distancia entre dos electrodos colocados perpendicularmente a la tubería, según realice el recorrido a favor o en contra de la corriente del fluido.

Cada uno de los electrodos emite un pulso sonoro y recoge el pulso emitido por el emisor opuesto —con el que se encuentra encarado— formando la línea que une ambos un ángulo  $\alpha$  a respecto del eje de la tubería.

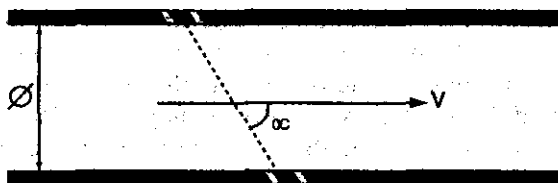


Fig. f.4. Medidor de caudal ultrasónico por tiempo de tránsito.

## f.4 Elementos primarios en conductos trabajando a presión

### f.4.1 Pitot modificado tipo Annubar

Este tipo de medidor utiliza el principio de medición del tubo pitot, con la diferencia que el pitot modificado es fijo y permanente y el segundo es desplazable, portátil. El pitot modificado proporciona diferenciales de presión que son fácilmente transformados a sus equivalentes de caudales.

Está constituido por un tubo que varía entre 1" y 2 3/8" (de acuerdo con el diámetro del conducto, presión y velocidad del flujo). En la parte frontal tiene cuatro perforaciones a distancias definidas para captar el promedio de la carga de impacto (alta presión) y en la parte posterior tiene una perforación para captar la carga de referencia (baja presión). La diferencia de magnitud entre esas señales proporciona los diferenciales de presión. Se fabrican para cualquier diámetro de tubería.

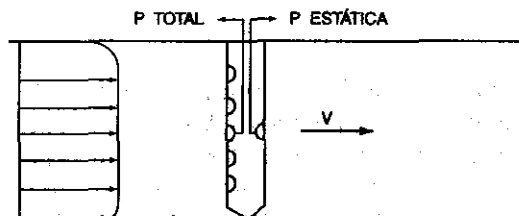


Figura. f.5. Esquema de un medidor de caudal tipo Annubar.

Su instalación es sencilla; únicamente se tiene que perforar el conducto con una broca de diámetro equivalente al del tubo pitot modificado, introducir el medidor y asegurarlo con los procedimientos que recomienda el proveedor. Se puede instalar incluso estando el conducto en operación.

#### f.4.2 Medidores deprimógenos

Estos medidores se pueden usar en tuberías con el diámetro que se requiera, pero su costo de instalación es alto en comparación con los pitots modificados. Sin embargo, su precisión y durabilidad son mayores. Su principio de funcionamiento se basa en proporcionar diferenciales de presión debido al estrangulamiento del medidor. Para su instalación es necesario seccionar el conducto en un tramo equivalente al tamaño longitudinal del medidor. Se recomienda el Venturi largo para medición de agua potabilizada debido a que no se obstruyen sus tomas de presión tan fácilmente como en otros medidores.

#### f.5 Medidores magnéticos

Son equipos de alto costo, excelente precisión, alta flexibilidad en el ajuste del rango, de tecnología compleja, cuya aplicación debe estar condicionada a la existencia de repuestos, excelente mano de obra y asistencia técnica eficaz.

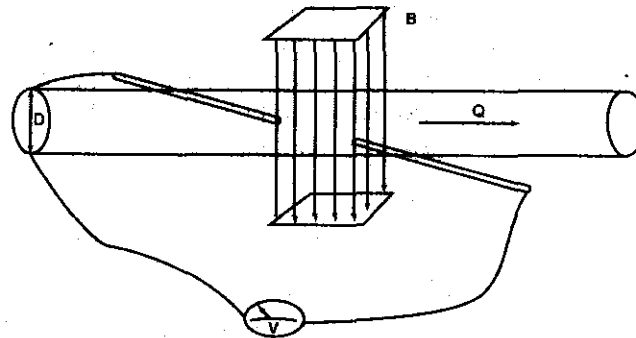


Figura. f.6. Principio de funcionamiento de un caudalímetro electromagnético.

#### f.6 Elementos primarios en conductos libres

Se tienen varios dispositivos para medir los caudales en conductos libres. El medidor tipo Parshall es uno de los más utilizados debido a que no provoca remanso ni sedimentación. La estructura de medición es una canaleta Parshall cuyas dimensiones se muestran en la figura f.7 y cuadro f.1. La canaleta Parshall es un dispositivo primario diseñado para operar



en canales abiertos donde las velocidades de flujo son moderadas. La canaleta debe ser localizada más allá de la influencia de estructuras de control, dobladas con el alineamiento del canal y otros dispositivos que causen remolinos, olas o flujos residuales. El cumplir con estos requisitos asegurará la exactitud de los niveles de altura contra la curva de flujo como fue establecida por R.L. Parshall. En este caso, la medición de los niveles se realiza mediante un equipo ultrasónico ubicado aguas arriba de la canaleta.

Como la canaleta Parshall tiene autolimpieza, se recomienda cuando se encuentran presentes arenas, lodos y otra clase de sólidos pesados en la corriente de flujo. La canaleta opera con una pequeña pérdida del nivel de altura, aproximadamente 1/4 de aquellos vertedores que tienen el mismo largo de cresta.

Cuadro f.1. Dimensiones de la canaleta Parshall.

Sistema	W cm	A cm	B cm	C cm	D cm	E cm	F cm	G cm	K cm	N cm
Teórico	121.9	182.9	179.4	152.4	193.7	91.44	60.96	91.44	7.62	22.86

### f.6.1 Teoría sobre el Parshall

La canaleta Parshall está compuesta de tres secciones: una convergente, una garganta y una divergente. El nivel del piso en la sección convergente está por arriba del nivel del piso de la garganta y de la sección divergente. La altura de la superficie del agua en la sección convergente es proporcional al flujo del agua que pasa por la garganta de la canaleta.

#### CANALETA PARSHALL

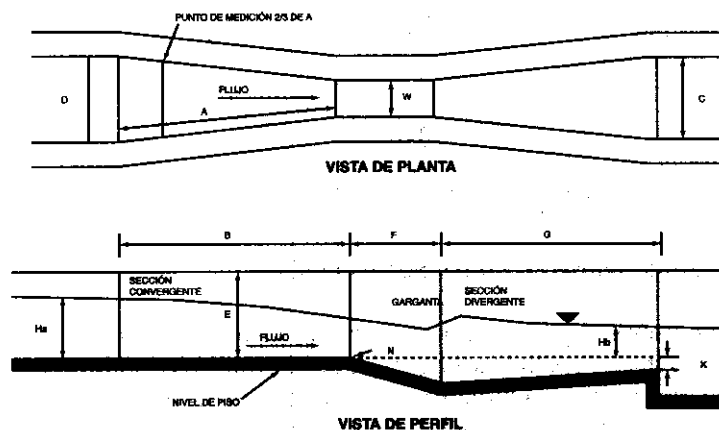


Figura f.7. Canaleta tipo Parshall.

La ecuación general para el cálculo del flujo libre en una canaleta Parshall es:

$$Q = 4WH^n \quad (f.3)$$

Donde : H es el nivel del agua con respecto al nivel del piso en la sección convergente, en ft.

$$n = 1,522 W^{0.026}$$

W= Es el ancho de la canaleta Parshall en ft

La superficie del agua debe ser medida atrás de la cresta de la canaleta a una distancia de 2/3 de la longitud de la sección convergente. La medición de las alturas de las cargas debe darse en condiciones estables y de reposo en la canaleta. Si se presentan variaciones de flujo es recomendable colocar una mampara estabilizadora del flujo. Una característica de la canaleta Parshall es la inclinación invertida hacia abajo de la garganta. Esta particularidad le da a la canaleta su habilidad de operar en altos rangos de niveles de variación hacia arriba o hacia abajo, mucho más que otros dispositivos. La canaleta Parshall es una estructura monolítica de fibra de vidrio reforzada con poliéster para asegurar una máxima fuerza y exactitud en las dimensiones, mientras que se minimiza el tiempo de instalación. Un medidor de sostén con dimensiones menores de 1/4" es estándar.

El medidor tipo vertedor triangular se recomienda para caudales pequeños, cuando no es posible la instalación de uno de los medidores mencionados o similares. Ya que no se puede interrumpir el caudal para la construcción o instalación de los mismos, se efectúan mediciones con molierte.

## g. Medidores de presión

Existe una multitud de procedimientos para la medida de presión, pero el más común es el basado en elemento primario elástico.

### g.1 Manómetro tipo Bourdon

Los elementos primarios elásticos constituyen el fundamento de una gran mayoría de los transductores utilizados para la medición de presiones. Presentan diversas formas constructivas, pero sin duda la más extendida en el sector de los sistemas de distribución de agua es el tipo Bourdon o manómetro metálico, como también se le conoce (figura g.1). Consiste en un tubo de sección elíptica, que forma un anillo casi completo cerrado

por un extremo y en cuyo interior se encuentra el fluido cuya presión es la variable a medir. Al variar la presión en el interior del tubo, éste tiende a una nueva posición debido a su naturaleza elástica (por ejemplo, al aumentar la presión, el tubo tiende a enderezarse). El movimiento del extremo del tubo es transmitido mecánicamente mediante unos engranajes a la aguja indicadora. A través de ésta, sobre una esfera graduada, se puede visualizar la presión medida.

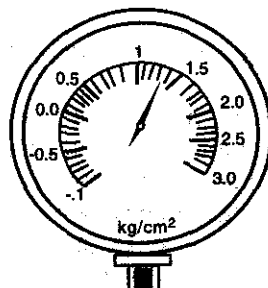


figura g.1.

## h. Medidores de nivel

El almacenamiento de agua en los sistemas de distribución de agua para su posterior distribución es una práctica habitual. En ocasiones, la presencia de masas importantes de agua almacenada origina la necesidad de medir el nivel de agua en los depósitos. Son múltiples las soluciones disponibles para la medición de niveles de fluidos en recipientes cerrados, pero en este apartado se analizan únicamente las más utilizadas, así como algunas soluciones sencillas empleadas en la práctica habitual. Los medidores de nivel de líquidos trabajan midiendo de distintas formas: o directamente la altura de líquido sobre una línea de referencia, o la presión hidrostática, o el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, o bien aprovechando características eléctricas del líquido.

### h.1 Medida directa

El medidor de nivel con indicación directa más clásico es el flotador (figura h.1), del que existen muchos tipos. A través de un juego de hilos y poleas se traslada la posición de éste —y por consiguiente el nivel— sobre una reglilla convenientemente graduada. La posición del flotador puede también transformarse en una señal eléctrica mediante el uso de un potenciómetro. El simple tubo exterior graduado entraría también en esta categoría. En general, todos estos tipos de medidor presentan el grave problema de que las oscilaciones dificultan notablemente la lectura,

aunque existen soluciones técnicas para anular casi por completo las oscilaciones en la zona de medida.

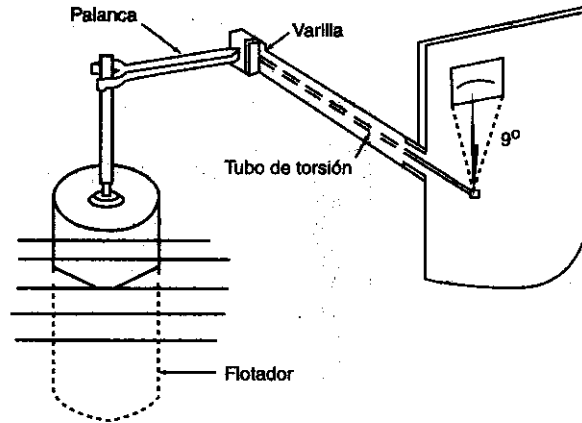


Figura. h.1. Principio de funcionamiento de un flotador.

## *h.2 Medidores de nivel de medida de la presión estática*

Se basan en el principio de que la presión debida a una columna de líquido es proporcional a su densidad y su altura (figura h.2). Se trata, pues, de instalar un aparato de medida de presión estática existente en dicho punto que nos permitirá deducir de forma inmediata el nivel del líquido por encima de la referencia. Si además el medidor indica la presión en mca, la lectura puede ser directa.

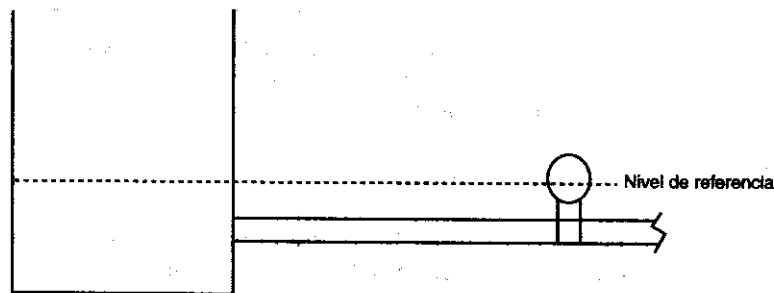


Figura h.2. Medición del nivel mediante un manómetro de presión estática.

### h.3 Medidor de nivel tipo burbujeo

Se trata de un mecanismo de medición consistente en un tubo sumergido en el líquido en el que se desea medir el nivel, y en el que se hace burbujear aire mediante un rotámetro con un regulador de caudal incorporado (ver figura h.3).

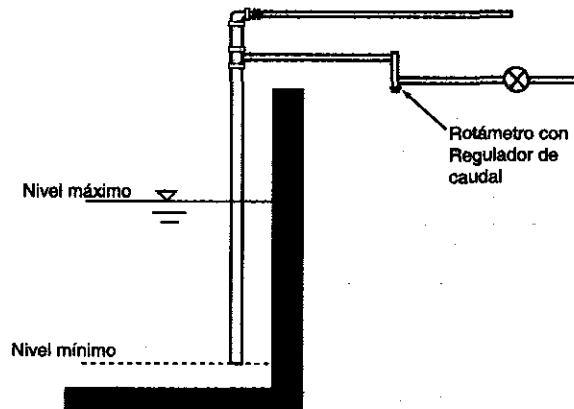


Figura. h.3. Medidor de nivel de tipo burbujeo.

La presión de aire en la tubería equivale a la presión hidrostática ejercida por la columna del líquido, es decir, el nivel. El regulador de caudal permite mantener un caudal de aire constante a través del líquido, independientemente del nivel (un valor normal del caudal de aire es 150 l/h en condiciones normales). La presión de aire en la tubería (el nivel) se mide mediante un manómetro de precisión adecuada cuyo campo de medida corresponde a la presión máxima ejercida por el líquido, que puede obtenerse fácilmente a partir de  $P=pgh$ , sin más que conocer la profundidad máxima  $h$ . La ventaja de este sistema frente a otros basados en la medida de presión es que el manómetro encargado de medir el nivel se puede colocar a una cierta distancia del depósito.

### h.4 Mediciones de presencia de líquido

En algunas aplicaciones concretas no resulta tan interesante medir el nivel exacto del líquido en el depósito como el medir si dicho nivel es superior o no a un determinado valor. En este sentido existen dispositivos más o menos complicados encargados de generar algún tipo de señal (generalmente eléctrica) que indique esta circunstancia.

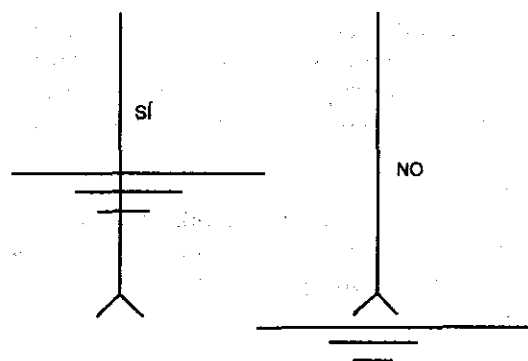


Figura. h.4. Utilización de dos contactos eléctricos como indicadores de nivel.

Uno de los dispositivos más sencillos para determinar si se ha alcanzado o no un determinado nivel es la introducción de un par de hilos conductores, de forma que al contacto con el fluido se produzca el cierre del circuito eléctrico, mientras que al desaparecer el fluido (al haber disminuido el nivel) el circuito queda abierto al exponerse al aire los dos contactos. Si bien no se trata de una solución tecnológicamente adecuada, no resulta extraño encontrarlo como solución de circunstancia en algunas instalaciones (figura h.5).

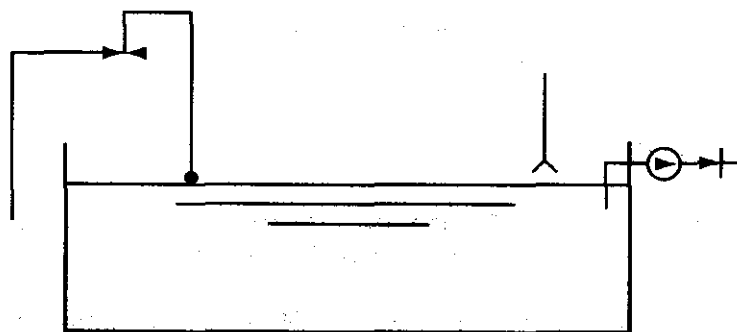


Figura. h.5. Control de nivel en la aplicación de un grupo de bombeo.

#### *h.5 Medidor de nivel ultrasónico*

Los medidores de nivel por ultrasonidos son una solución tecnológicamente más compleja que las abordadas con anterioridad, pero en determinadas circunstancias puede ser una solución adecuada. Se basan en la

emisión de un impulso ultrasónico (normalmente de una frecuencia en el rango 20-40 KHz) a una superficie reflectante, y la recepción del eco en un detector, ubicado físicamente junto al emisor y formando en conjunto una unidad. El retardo en la captación del eco depende del nivel del depósito.

La precisión de estos instrumentos es elevada, aunque son los más costosos. Pueden ser especialmente recomendados para algunas instalaciones de aguas residuales y corrosivas, por la ausencia del contacto físico entre el líquido y el medidor.

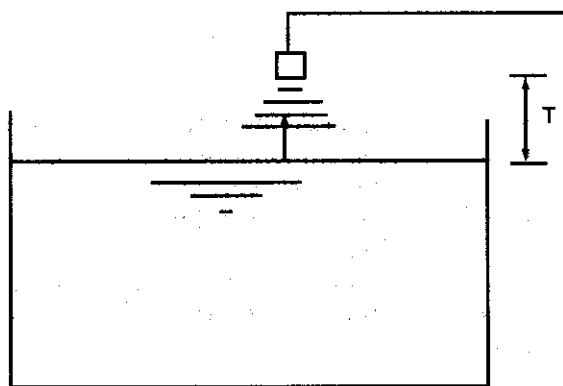


Figura. h.6. Medición del nivel por ultrasonidos.

## Bibliografía

1. Cabrera, E., Espert, V., García-Serra, J., Martínez, F. *Ingeniería hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua*, vol.1, 2ª edición, Valencia, España, 1996.
2. Ochoa, L., Bourguett, V., Rodríguez, M., Navarro, S., *Recuperación integral de pérdidas de agua*, CNA-IMTA, Jiutepec, Morelos, 1996.
3. Abbet, R. W., de., *American Civil Engineering Practice*, vol. II, Wiley, Nueva York, 1956.
4. ASME, *Symposium on Flow, It's Measurement and Control in Science and Industry*, Pittsburgh, 1971.
5. Chow, V. T., *Open Channel Hydraulics*, McGraw-Hill, Nueva York, 1956.
6. Miller, R. W., *Flow Measurement Engineering Handbook*, McGraw-Hill, Nueva York, 1983.

El libro *Reducción integral de pérdidas de agua potable* se terminó de imprimir el mes de noviembre de 2001 en los talleres de Carlos Alvarado Bremer- Impresión y Diseño, Av. Río Churubusco 2005, Col. El Rodeo, Delegación Iztacalco, 08510, México, DF. La edición consta de quinientos ejemplares.





