

01162 2g



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**MÉTODO PARA DETECTAR
FUGAS EN TOMAS DOMICILIARIAS**

T E S I S

Como requisito para obtener el grado de
Maestro en Ingeniería
(Hidráulica)

Presenta
MIGUEL ANGEL AGUILAR SUÁREZ

DIRECTOR DE TESIS

Dr. ÓSCAR ARTURO FUENTES MARILES



MÉXICO, D.F.

ENERO 1999

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

270473



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIAS

A mí estimado maestro
Dr. Julio Antonio Cortés Manjarrez

DEDICATORIAS

**A mis padres
Miguel y Nelly**

**A mis hermanos
Marco Antonio y Julio César**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Óscar Arturo Fuentes Mariles por el invaluable apoyo que me dio para la elaboración de este trabajo.

Al Dr. Ramón Domínguez Mora por la ayuda que siempre me ha brindado.

Al M. I. Víctor Franco por sus enseñanzas y paciencia para conmigo.

A todos los que de una u otra manera participaron en la elaboración de este trabajo.

“ Espero que este trabajo sea el inicio de otras investigaciones guiadas siempre por el certero consejo de ustedes mis maestros “.

ÍNDICE

RESUMEN	i
ÍNDICE DE TABLAS	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
NOTACIÓN	iv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. TOMAS DOMICILIARIAS	5
2.1 Descripción de una toma domiciliaria y sus componentes	5
2.1.1 Ramal	5
2.1.2 Cuadro	5
2.2 Tipos de tomas domiciliarias	9
2.2.1 Toma domiciliaria tipo	9
2.2.2 Tomas domiciliarias especiales	13
2.2.3 Tomas domiciliarias para conjuntos habitacionales	14
2.2.4 Determinación de las condiciones hidráulicas de funcionamiento	15
3. FUGAS EN TOMAS DOMICILIARIAS	16
3.1 Clasificación de las fugas	16
3.2 Tipos de fallas	18
3.3 Causas de las fallas	18
3.3.1 Alta presión	18
3.3.2 Corrosión	18
3.3.3 Cargas externas	19
3.3.4 Movimiento del suelo	20
3.3.5 Mala calidad de los materiales	20

3.3.6 Mala calidad de la mano de obra	20
3.3.7 Edad de las tuberías	20
3.3.8 Causas Estructurales	21
3.3.9 Golpe de ariete	22
3.4 Factores asociados con la presencia de fugas	22
4. TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE FUGAS EN REDES DE TUBERÍAS	28
4.1 Técnicas de detección de fugas	28
4.1.1 Método de los distritos hidrométricos	29
4.1.2 Método de detección de fugas propuesto por el Instituto de Ingeniería	31
4.1.3 Equipos electrónicos para localizar fugas de manera indirecta	32
4.1.4 Equipos electrónicos para localizar fugas de manera directa	33
4.1.5 Detección de fugas con trazadores	34
4.1.6 Varillas de sondeo	34
4.1.7 Geófonos mecánicos	35
5. DISEÑO DEL DISPOSITIVO FÍSICO	36
5.1 Consideraciones para el diseño	36
5.2 Análisis de las pérdidas totales	38
5.1 Sistema de bombeo, recirculación del agua y aforadores	40
6. MÉTODO PARA DETECTAR FUGAS EN TOMAS DOMICILIARIAS	46
6.1 Fundamentos del método	47
6.1.1 Fuga en la válvula de inserción	50
6.1.2 Fuga en el ramal o cuadro	52
6.1.3 Método propuesto	53

7. ENSAYOS REALIZADOS EN EL DISPOSITIVO FÍSICO	56
7.1 Equipos de medición	56
7.2 Metodología de las pruebas realizadas	59
7.3 Pruebas	61
7.3.1 Primera prueba	62
7.3.2 Segunda prueba	63
7.3.3 Tercera prueba	65
7.3.4 Cuarta prueba	66
7.3.5 Quinta prueba	67
7.3.6 Sexta prueba	69
8. APLICACIÓN DEL MÉTODO PARA DETECTAR FUGAS	78
8.1 Aplicación y resultados del método para detectar fugas	78
8.2 Análisis de los resultados del método	82
9. APLICACIÓN EN CAMPO DEL MÉTODO PARA DETECTAR FUGAS	85
9.1 Procedimiento para la aplicación en campo del método	85
9.2 Medición de presiones aplicando el método y resultados	96
9.3 Efectividad del método para los estudios de campo	99
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
BIBLIOGRAFIA	103
ÁLBUM FOTOGRÁFICO	107

RESUMEN

Las pérdidas físicas de agua causadas por fugas en los sistemas urbanos de distribución afectan de manera importante la disponibilidad de agua potable en las ciudades, sobre todo en aquellas ubicadas en zonas semiáridas y áridas. Estudios de evaluación de fugas en México señalan que en promedio las pérdidas son del 38 % del agua entregada a la red primaria, donde el 24 % se presenta en las tomas domiciliarias.

Por ello es un problema de primordial importancia. Para ayudar a resolverlo el Instituto de Ingeniería de la UNAM plantea un estudio en donde se propone un método para detectar fugas en tomas domiciliarias, basado en la medición de presiones en las válvulas de manguera que se instalan en las tomas domiciliarias.

Con la finalidad de evaluar la bondad del método, se realizaron varias clases de pruebas en un dispositivo físico que representa a un tramo de la red secundaria con 10 tomas domiciliarias.

El método también se aplicó en campo mostrando su utilidad para detectar las tomas domiciliarias reales que presentan fugas.

El procedimiento se continua mejorando para extender los aspectos no incluidos y que se observaron al momento de aplicar en campo dicho método.

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1.1 Estudio sobre fugas en la República Mexicana
- Tabla 1.2 Indicadores de agua no contabilizada a nivel mundial
- Tabla 2.1 Componentes de una toma domiciliaria en zona urbana
- Tabla 2.2 Componentes de una toma domiciliaria para zona rural
- Tabla 3.1 Tabla de clasificación de las fugas
- Tabla 3.2 Causas estructurales de falla
- Tabla 5.1 Cálculo de las pérdidas que se originan en la tubería de 4"
- Tabla 5.2 Cálculo de las pérdidas que origina la última toma domiciliaria
- Tabla 5.3 Resultados del proceso iterativo para encontrar el tirante normal
- Tabla 5.4 Valores empleados para el diseño del vertedor triangular
- Tabla 7.1 Datos de presiones y gastos sin fuga de la primera prueba
- Tabla 7.2 Datos de presiones y gastos con fuga de la primera prueba
- Tabla 7.3 Datos de presiones y gastos sin fuga de la segunda prueba
- Tabla 7.4 Datos de presiones y gastos con fuga de la segunda prueba
- Tabla 7.5 Datos de presiones y gastos sin fuga de la tercera prueba
- Tabla 7.6 Datos de presiones y gastos con fuga de la tercera prueba
- Tabla 7.7 Datos de presiones y gastos sin fuga de la cuarta prueba
- Tabla 7.8 Datos de presiones y gastos con fuga de la cuarta prueba
- Tabla 7.9 Datos de presiones y gastos sin fuga de la quinta prueba
- Tabla 7.10 Presiones y gastos con fuga en la válvula de inserción de la quinta prueba
- Tabla 7.11 Datos de presiones y gastos con fuga en el ramal de la quinta prueba
- Tabla 7.12 Datos de presiones y gastos sin fuga de la sexta prueba
- Tabla 7.13 Datos de presiones y gastos con fuga de la sexta prueba
- Tabla 7.14 Datos de presiones y gastos con fuga de la sexta prueba
- Tabla 7.15 Datos de presiones y gastos con fuga de la sexta prueba
- Tabla 7.16 Datos de presiones y gastos con fuga de la sexta prueba
- Tabla 8.1 Método aplicado a la primera prueba
- Tabla 8.2 Método aplicado a la segunda prueba
- Tabla 8.3 Método aplicado a la tercera prueba

Tabla 8.4 Método aplicado a la cuarta prueba

Tabla 8.5 Método aplicado a la quinta prueba

Tabla 8.6 Método aplicado a la sexta prueba

Tabla 9.1 Fugas en tomas domiciliarias en 1995

Tabla 9.2 Fugas en tomas domiciliarias en 1996

Tabla 9.3 Fugas en tomas domiciliarias en 1997

Tabla 9.4 Fugas en tomas domiciliarias en 1998

Tabla 9.5 Promedio de presiones y gastos de consumo

Tabla 9.6 Presiones, volúmenes y gastos medidos en la casa No. 51

Tabla 9.7 Presiones, volúmenes y gastos medidos en la casa No. 56

Tabla 9.8 Presiones, volúmenes y gastos medidos en la casa No. 70

Tabla 9.9 Sexto ciclo de medida de presiones aplicando el método para detectar fugas

Tabla 9.10 Resultados obtenidos de los trabajos de campo

Tabla 9.11 Resultados de datos generales de la calle en estudio

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 2.1 Prototipo de toma domiciliaria
- Figura 2.2 Toma domiciliaria con válvula de banquetta con o sin medidor
- Figura 2.3 Toma domiciliaria sin válvula de banquetta con o sin medidor
- Figura 3.1 Ubicación y frecuencia de fallas en tomas domiciliarias
- Figura 3.2 Factores asociados con la presencia de fugas en tomas domiciliarias
- Figura 3.3 Relación porcentaje de fallas-tipo de suelo
- Figura 3.4 Edad de la instalación-porcentaje de fallas
- Figura 3.5 Edad de la instalación-porcentaje de fallas
- Figura 3.6 Diámetro de la tubería-porcentaje de fallas
- Figura 3.7 Mes-porcentaje de fallas
- Figura 3.8 Profundidad de la instalación-porcentaje de fallas
- Figura 4.1 Distrito pitométrico típico en el muestreo
- Figura 4.2 Detector de fugas LC-2100
- Figura 4.3 Detector de fugas LD-10
- Figura 4.4 Operador con micrófono magnético
- Figura 4.5 Geófonos para localizar fugas
- Figura 5.1 Propuesta para el dispositivo físico
- Figura 5.2 Prototipo de la toma domiciliaria a presentar en el dispositivo físico
- Figura 5.3 Numeración de nodos de la red
- Figura 5.4 Vertedor triangular del tanque de recolección de agua
- Figura 5.5 Detalle de las canaletas de recirculación
- Figura 5.6 Gráfica ajustada al gasto del vertedor triangular
- Figura 6.1 Segmento de una tubería
- Figura 6.2 Niveles piezométricos en una tubería
- Figura 6.3 Toma domiciliaria con una fuga en la válvula de inserción
- Figura 6.4 Toma domiciliaria con una fuga en el ramal
- Figura 7.1 Manómetro de carátula
- Figura 7.2 Celda de presión
- Figura 7.3 Manómetro diferencial abierto

- Figura 7.4 Resultados en *mca* de la prueba 4, sin fuga
- Figura 7.5 Resultados en *mca* de la prueba 4, con fuga
- Figura 7.6 Resultados en *mca* de la prueba 5, sin fuga
- Figura 7.7 Resultados en *mca* de la prueba 5, con fuga
- Figura 7.8 Resultados en *mca* de la prueba 5, con fuga
- Figura 7.9 Resultados en *mca* de la prueba 6, sin fuga
- Figura 7.10 Resultados en *mca* de la prueba 6, con fuga en la válvula de inserción de la toma 3 y en la válvula de inserción de la toma 7
- Figura 7.11 Resultados en *mca* de la prueba 6, con fuga en la válvula de inserción de la toma 3 y en el ramal de la toma 7
- Figura 7.12 Resultados en *mca* de la prueba 6, con fuga en el ramal de la toma 3 y en la válvula de inserción de la toma 7
- Figura 7.13 Resultados en *mca* de la prueba 6, con fuga en el ramal de la toma 3 y en el ramal de la toma 7
- Figura 9.1 Infraestructura de agua potable de la Colonia los Sauces
- Figura 9.2 Croquis de tomas domiciliarias localizadas en la calle Rancho Las Animas
- Figura 9.3 Presiones de la casa No. 56
- Figura 9.4 Gastos de consumo de la casa No. 56
- Figura 9.5 Presiones de la casa No. 70
- Figura 9.6 Gastos de consumo de la casa No. 70
- Figura 9.7 Presiones de la casa No. 56, después de reparada la fuga
- Figura 9.8 Gastos de consumo de la casa No. 56, después de reparada la fuga

NOTACIÓN

f	factor de fricción de la ecuación de Darcy-Weisbach
g	aceleración de la gravedad
h_f	perdidas por fricción
h_l	perdidas locales ocasionadas por accesorios
h_{total}	perdida total
l	litros
mca	metros columna de agua
n	factor de fricción de Manning
p_p	presión ponderada
p_{i-1}	presión en la toma domiciliaria inicial
p_{i+1}	presión en la toma domiciliaria final
p_i	presión en la toma domiciliaria con fuga
s	segundos
t_{i-1}	toma domiciliaria inicial
t_i	toma domiciliaria central
t_{i+1}	toma domiciliaria final
x_i	longitud entre la toma domiciliaria inicial y central
x_{i+1}	longitud entre la toma domiciliaria central y final
z	carga de posición
A	área de la sección transversal del conducto
A_L	área de una superficie cilíndrica
D	diámetro interior del conducto
F	factor de fuga
F_c	fuerza cortante
F_t	fuerza cortante tangencial
K	coeficiente que depende del tipo de accesorio
L	longitud de la tubería
PHC	plano horizontal de comparación
Q	gasto que circula por la tubería

R	número de Reynolds
S_f	perdida de energía por unidad de longitud
V	velocidad media del flujo
W	peso del fluido
α	coeficiente de coriolis
γ	peso específico del fluido
τ_o	esfuerzo cortante

1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la demanda de agua potable en las poblaciones, la escasez de este recurso en algunas regiones y el alto costo de su captación, transporte, potablización y distribución obliga a aprovechar con mayor eficiencia la mayor cantidad de ella.

Uno de los principales problemas que enfrentan los operadores de los sistemas de abastecimiento de agua potable son las pérdidas físicas de agua por fugas. Estas se presentan tanto en las redes de tuberías como en las tomas domiciliarias.

Entre las causas que originan las fugas en las tomas domiciliarias están el tipo de suelo, calidad del agua, el método de construcción, materiales, edad de la instalación, prácticas de operación, cargas sobre la tubería, mantenimiento y las presiones interiores.

Las fugas representan una pérdida efectiva del líquido, además de que tienen implicaciones sociales y económicas importantes en la población, ya que se trata de agua captada, bombeada, tratada, almacenada, distribuida, que se pierde cerca de los sitios donde es requerida.

En 1990 la Comisión Nacional del Agua, solicitó a los organismos operadores estimar el porcentaje de fugas en los sistemas de distribución de agua potable de 23 ciudades de la República Mexicana. En la tabla 1.1 se observan los resultados obtenidos por Arreguín, Ochoa y Fernández en 1997.

Se observa que el promedio de las pérdidas totales en México es de 37.8 %, (columna 8). Este porcentaje se disgrega en 24.3 % en las fugas en tomas domiciliarias (columna 4) y en 13.5 % a las fugas en la red (columna 6).

Tabla 1.1 Estudio Sobre fugas en la República Mexicana

Ciudad	Gasto suministrado (l/s)	Pérdidas en tomas (l/s)	Pérdidas en tomas (%)	Pérdidas en la red (l/s)	Pérdidas en la red (%)	Pérdidas totales (l/s)	Pérdidas totales (%)
Campeche, Camp.	525	156	29.7	114	21.7	270	51.4
Cancún, Q. Roo	940	114	12.2	147	15.6	261	27.8
Cd. del Carmen, Camp.	268	67	30.3	23	10.3	89	40.5
Cd. Juárez, Chih.	4,147	1,241	29.9	248	5.8	1,481	35.7
Chihuahua, Chih.	3,489	552	15.8	896	25.7	1,418	41.5
Chetumal, Q. Roo	583	180	35.7	99	19.7	279	55.4
Coatzacoalcos, Ver.	736	262	39.7	36	1.9	298	40.8
Constitución, B.C.S.	165	52	31.3	2	1.2	54	32.5
Durango, Dgo.	2,129	649	38.5	176	1.3	826	38.8
Fresnillo, Son.	314	54	16.6	84	26.0	138	42.5
Guaymas, Son.	468	114	23.4	30	6.2	344	29.6
León, Gto.	3,045	629	21.0	187	32.4	1,616	34.8
Los Cabos, B.C.S.	267	61	23.0	32	12.1	93	37.8
Mazatlán, Sin.	1,350	285	15.2	244	18.6	449	33.2
Oaxaca, Oax.	721	446	61.9	8	1.1	454	63.0
Querétaro, Qro.	1,783	242	13.5	50	2.8	292	16.4
San Cristobal, Chis.	218	118	39.5	10	5.6	129	43.2
Tapachula, Chis.	743	54	6.2	186	11.3	157	21.1
Tuxtla Gtz., Chis.	1,162	213	18.3	93	8.5	304	26.3
Veracruz, Ver.	2,869	644	22.5	445	5.5	1,089	38.0
Villahermosa, Tab.	1,900	530	27.9	137	1.2	667	35.1
Xalapa, Ver.	1,215	465	38.3	8	0.6	473	38.9
Zacatecas, Zac.	485	134	27.7	15	3.1	149	38.7
TOTALES	29,497	7,171	24.3	3,984	13.5	11,161	37.8

En otros estudios sobre fugas de agua que se han hecho para la República Mexicana se llegó a determinar que son del orden del 36 %, perdiéndose en tomas domiciliarias el 26 % del volumen de agua suministrado a la población, y en la red de distribución se presenta un 10 %.

En la tabla 1.2 se incluye una comparación de los niveles de agua no contabilizada (pérdidas por fugas y mala medición), en varios países, en ella se aprecia que en México al igual que en la mayoría de los países de Centro y Sudamérica se tiene un nivel de agua no contabilizada casi tres veces mayor que el de los países desarrollados (Fernández, 1998).

Tabla 1.2 Indicadores de agua no contabilizada a nivel mundial

Ciudad y País	Agua no contabilizada (%)
América:	
Minas Gerais, Brasil	27.10
Santiago de Chile, Chile	34.7
Valle del Cauca, Colombia	36.5
Medellín, Colombia	38.0
Monterrey, México	35.0
Estados Unidos	12.0
Canadá	13.0
Europa:	
Barcelona, España	26.8
Alicante, España	13.8
París, Francia	11.8

Los beneficios de la disminución de los caudales de fugas influyen en el ahorro en energía eléctrica y en reactivos químicos; el mejoramiento financiero por aminorar los costos de potabilización y bombeo; la reducción del riesgo de contaminación del agua potable; el menor desgaste de bombas y plantas potabilizadoras del sistema de distribución, uso más eficiente de los recursos existentes, al ampliar la cobertura de servicio.

Lo anterior, motiva a llevar a cabo esfuerzos para disminuir la cantidad de agua que se pierde por fugas, ya sea en la red, en tomas domiciliarias o inclusive en el interior de las viviendas de los usuarios.

El método para detectar tomas domiciliarias con fuga que se presenta en este trabajo emplea un mínimo de mediciones de presión y pretende ser una herramienta para los grupos de técnicos encargados de detectarlas y repararlas.

El trabajo consta de 10 capítulos, un anexo y un álbum fotográfico.

En el capítulo 2 se describen las características de una toma domiciliaria tipo y sus componentes. En el 3 se hace una clasificación de las fugas, los tipos y causas de las fallas que originan las fugas. El 4 menciona las técnicas de detección de fugas en redes de tuberías. Las consideraciones que se tomaron en cuenta para la construcción del dispositivo físico son presentadas en el 5. En el 6 se explican los fundamentos del método para la detección de fugas en tomas domiciliarias. El 7 incluye la metodología de las pruebas realizadas en el dispositivo físico, así como el equipo de medición de presiones utilizado y un resumen de seis pruebas realizadas en laboratorio. La aplicación del método, los resultados y su análisis se tratan en el 8. Los procedimientos, la aplicación y la efectividad para aplicar el método en campo son descritas en el 9. Finalmente en el 10 se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas del trabajo.

2. TOMAS DOMICILIARIAS

2.1 Descripción de una toma domiciliaria y sus componentes

Se entiende como toma domiciliaria a la instalación hidráulica que sirve para conducir el agua al usuario y que se deriva de la tubería de la red secundaria de distribución. Ella está constituida por dos elementos básicos: el ramal y el cuadro. En la figura 2.1 se observa una toma domiciliaria típica en el Distrito Federal, México.

2.1.1 Ramal

El ramal es la parte de la toma domiciliaria que tiene como función la conducción del agua de la tubería de la red secundaria hacia la instalación hidráulica intradomiciliaria. Da inicio en el acoplamiento con la tubería de la red y concluye en el codo inferior del primer tubo vertical del cuadro (figura 2.1). Para su instalación, conexión y operación, está conformada por las piezas que a continuación se describen:

Válvula de inserción.- Es la pieza que permite unir la abrazadera con la tubería del ramal, roscándose en ésta y con salidas adaptables para diferentes tipos de tuberías flexibles. Se fabrican en bronce y en PVC (elemento 2).

En el mercado existen válvulas de inserción que cuentan con un dispositivo de cierre con $\frac{1}{4}$ de vuelta. Ésta válvula se usa para instalar el ramal de la toma con la línea de distribución, vacía o trabajando a presión; en este caso tiene como fin evitar la suspensión del servicio o la pérdida de agua durante la instalación o reparación de tomas.

Tubería flexible.- Corresponde a la parte del ramal cuya función es absorber un posible desplazamiento diferencial del terreno entre la red de distribución y la toma domiciliaria, para lo cual se realiza una deflexión a la tubería flexible, conocida como *cuello de ganso* (elemento 3). Existen varios materiales entre ellos el de cobre flexible (tipo “L”) y polietileno de alta densidad.

Tubería rígida.- Este elemento se localiza entre la llave de banqueta y el codo inferior del vertical, el material que se utiliza es cobre rígido (Tipo “M”) o el Fo.Go. (elemento 4). Su instalación es opcional ya que se puede continuar con tubería flexible; sin embargo, se prefiere utilizar rígida por la estabilidad que representa para los accesorios que ahí se ubican.

Codo inferior del cuadro.- Tiene como función unir la tubería del ramal con el cuadro de la toma, dependiendo de los materiales de dicha toma (elemento 5).

Conectores y nipples.- Son generalmente de bronce o PVC, permiten la unión entre las piezas que integran el ramal. Se utilizan principalmente para la unión de la tubería con la válvula de inserción, la llave de banqueta (si la hubiera) y del codo que une el ramal con el cuadro.

2.1.2 Cuadro

Es la parte de la toma domiciliaria que permite la instalación de los siguientes elementos: el medidor, la válvula de globo y la llave de manguera. El tipo de material con que se forma el cuadro es Fo.Go. o cobre rígido (tipo "M").

Las dimensiones son del orden de 0.60 m de altura a partir del nivel de piso, y 0.50 m de largo para colocar el medidor y la llave de manguera.

En algunas zonas de la República Mexicana donde se presentan bajas temperaturas es recomendable poner la tubería del ramal a una mayor profundidad para evitar que se congele el agua. Se recomienda ubicar el medidor en una caja de registro en lugar del cuadro, con el fin de prevenir fallas.

El cuadro esta formado por las partes siguientes:

- Tubos rígidos colocados en posición horizontal y vertical de Fo.Go. o cobre tipo "M".
- Codos de bronce, cobre o Fo.Go.
- Medidor; su selección depende básicamente de tres aspectos; calidad del agua, régimen de operación del sistema y del consumo por registrar.
- Adaptadores; se usan para ajustar las dimensiones del cuadro o como conexiones temporales cuando la instalación del medidor se posponga.
- Válvula de globo. Sirve para interrumpir el flujo de agua cuando se efectúa una reparación en el cuadro. Se instala antes del medidor si el cuadro no cuenta con llave de banqueta, en caso contrario se coloca después del mismo.
- "Tee". Se emplea para derivar el agua hacia la llave de manguera.

- Llave de manguera; corresponde a la primera llave de uso para el propietario del inmueble; además sirve para probar el funcionamiento del medidor y medir la presión disponible en la toma.
- Tapón al final de la toma; Se utiliza en forma provisional para el cierre de la toma al final del cuadro, y se elimina cuando la toma domiciliaria se conecta a la instalación hidráulica intradomiciliaria.

Por otro lado cabe mencionar que no todas las tomas domiciliarias se apegan a un sólo prototipo, ya que finalmente dependerán de las condiciones reales en las que se tengan que adaptar, es por eso que existe una gran diversidad en cuanto a piezas y ubicación de las mismas.

2.2 Tipos de tomas domiciliarias

2.2.1 Toma domiciliaria tipo

Los tipos de tomas comúnmente usadas se dividen en: urbana y rural, la diferencia entre ellas es el número y tipo de componentes que las integran como: la llave de banqueta, la de inserción y el medidor de agua. Como se observa en la figura 2.2 y 2.3.

El ramal en las tomas domiciliarias puede ser de polietileno de alta densidad, Fo. Go., cobre o una combinación de cualquiera de las tres. En todos los casos se necesita contar con las conexiones apropiadas para cada tipo de tubería. El material de la abrazadera y el de la red de distribución deben ser compatibles.

Los criterios de selección para la instalación de una toma domiciliaria se basan en la evaluación de algunos parámetros. A continuación se describen los criterios que permiten realizar su selección.

1.-Parámetros que determinan la agresividad del suelo:

ELEMENTOS

- 1.- ABRAZADERA
- 2.- SILLETA
- 3.- VÁLVULA DE INSERCIÓN
- 4.- CONECTOR
- 5.- TUBO FLEXIBLE
- 6.- VÁLVULA DE BANQUETA
- 7.- VÁLVULA LIMITADORA DE SERVICIO
- 8.- CAJA PARA VÁLVULA DE BANQUETA
- 9.- TUBO RÍGIDO
- 10.- CODOS
- 11.- MEDIDOR
- 12.- VÁLVULA DE SECCIONAMIENTO
- 13.- TE
- 14.- VÁLVULA DE NARIZ
- 15.- TAPÓN
- 16.- TUERCA UNIÓN

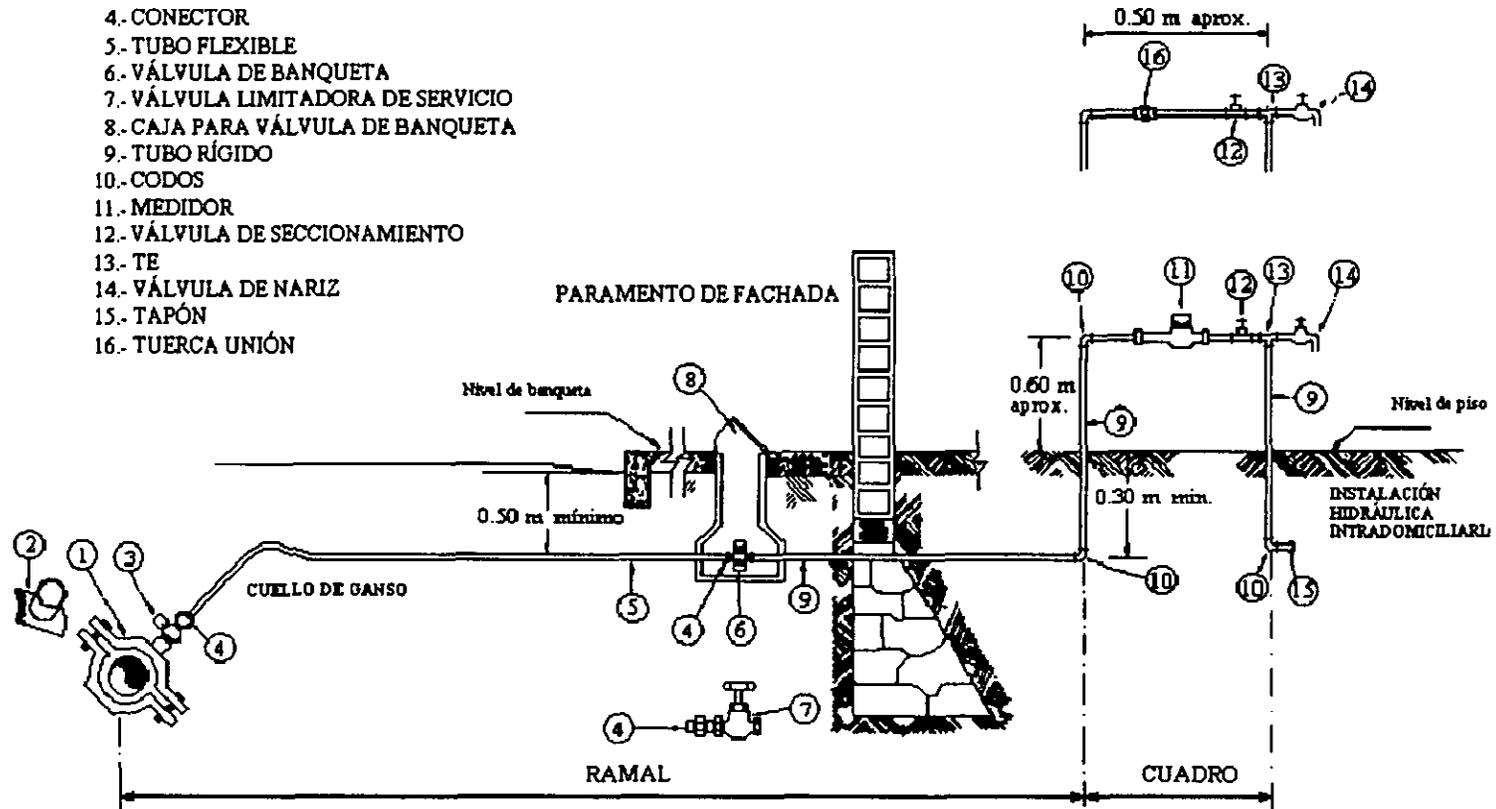


Fig. 2.2 Toma domiciliaria con válvula de banqueta con o sin medidor

ELEMENTOS

- 1.- ABRAZADERA
- 2.- SILLETA
- 3.- VÁLVULA DE INSERCIÓN
- 4.- CONECTOR
- 5.- TUBO FLEXIBLE
- 6.- TUBO RÍGIDO
- 7.- CODO
- 8.- VÁLVULA MACHO
- 9.- MEDIDOR
- 10.- VÁLVULA DE SECCIONAMIENTO
- 11.- TE
- 12.- VÁLVULA DE NARIZ
- 13.- TAPÓN
- 14.- TUERCA UNIÓN

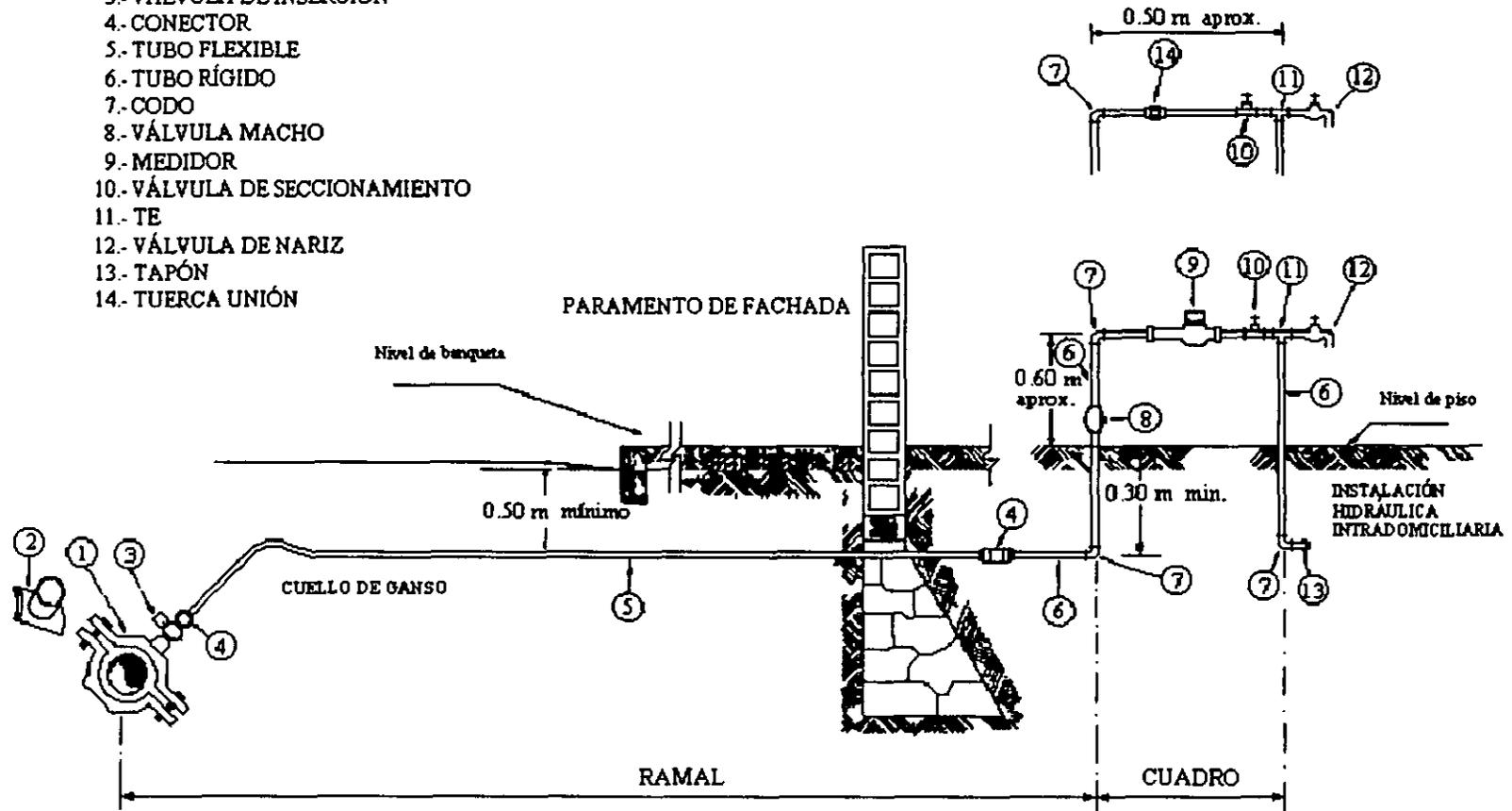


Figura 2.3 Toma domiciliaria sin válvula de banquetta con o sin medidor

- a.- Resistividad (<1000 ohm-cm)
- b.- pH (menor de 6.5)
- c.- Humedad (promedio anual)

Los valores de los parámetros indican las condiciones críticas que un suelo presenta para que se desarrolle la corrosión externa en una toma de componentes metálicos. El parámetro más significativo es el de la resistividad del suelo; este depende de la variación de la humedad del suelo, si el lugar donde se instalará la toma domiciliaria presenta una resistividad de 1000 ohm-cm y el material es metálico, para protegerlo se recomienda cubrir el ramal de la toma con una capa de arena, petatillo o tezontle de 20 cm de espesor (previa instalación de plantilla), libre de piedras o raíces; o bien, encamisar la tubería con manguera y sellar perfectamente sus extremos.

La selección del tipo de material de una tubería para toma domiciliaria debe considerar la resistencia mecánica contra: congelación, fuerzas externas, vibraciones, fatiga y presión hidráulica interna. Además se toma en cuenta la capacidad de flujo, conexiones y accesorios, flexibilidad, métodos y costos de instalación.

Existen varias opciones de instalación de una toma domiciliaria, pero el tipo y número de componentes lo determina principalmente la zona en que se realizará la instalación (urbana o rural). En las tablas 2.1 y 2.2 se presentan las partes de una toma para zona urbana y rural respectivamente.

Tabla 2.1 Componentes de una toma domiciliaria en zona urbana

Toma domiciliaria	Ramal	Cilindro
Zona Urbana	<ul style="list-style-type: none"> • Abrazadera o silleta • Válvula de inserción* • Tubería flexible • Llave de banqueta* • Caja de llave de banqueta* • Tubería rígida • Codo inferior del vertical • Conectores y niples 	<ul style="list-style-type: none"> • Tramos de tubería rígida colocados en posición horizontal y vertical. • Codos de 90° • Medidor • Adaptadores • Válvula de globo • Tee • Llave de manguera • Tapón al final de la toma

*Pieza opcional y su uso queda a criterio del organismo operador

Tabla 2.2 Componentes de una toma domiciliaria para zona rural

Toma domiciliaria	Ramal	Cuadro
Zona rural	<ul style="list-style-type: none"> • Abrazadera o silleta • Válvula de inserción • Tubería flexible • Tubería rígida • Codo inferior del vertical • Conectores o nipples 	<ul style="list-style-type: none"> • Tramos de tubería rígida colocados en posición horizontal y vertical. • Codos de 90° • Medidor * • Adaptadores • Válvula de globo • Tee • Llave de manguera • Tapón al final de la toma

* Pieza opcional y su uso queda a criterio del organismo operador

2.2.2 Tomas domiciliarias especiales

En los nuevos fraccionamientos o en la sustitución de tomas existentes se puede emplear tomas domiciliarias duplex, con el objeto de reducir costos de instalación y mantenimiento.

En una toma domiciliaria duplex, el ramal permite abastecer a dos predios contiguos. El diámetro del ramal debe ser de 19 mm (3/4") con una tee o una yee y varios accesorios para tener dos salidas de 13 mm (1/2"); posteriormente se coloca una llave de banqueta en cada salida (en caso de que proceda) y se hace la unión de cada salida con el cuadro correspondiente.

Este tipo de instalación ofrece las siguientes ventajas y desventajas.

a) Ventajas:

- Reduce los costos de instalación y mantenimiento.
- Se realiza menor número de perforaciones a la línea de distribución para derivar el servicio.
- Por tener menor número de perforaciones la línea, se disminuye la posibilidad de gastos de fuga.

b) Desventajas:

- En el caso de una falla (antes de la válvula de globo) se interrumpe el servicio a dos usuarios.
- Si en las dos tomas derivadas mediante este sistema se hace uso del servicio simultáneamente, disminuye la presión de servicio.
- Se dificulta la localización de fugas con el equipo de amplificación del sonido de la fuga. Ello se debe a que existe flujo de agua en las dos derivaciones que se realizan del ramal de la toma duplex por que la distancia de separación entre una y otra es pequeña, provocándose interferencia en la emisión del sonido de la fuga.

2.2.3 Tomas domiciliarias para conjuntos habitacionales

Se usan tomas de agua especiales para proporcionar este líquido a conjuntos habitacionales en condominios (hasta 60 viviendas). El conjunto habitacional se maneja como un solo usuario, por lo cual se establece otro tipo de la toma.

El diámetro de las tomas puede ser de 1" a 2 ½" dependiendo del caudal a conducir y de la presión disponible en la red.

La caja de medición con los siguientes elementos: válvula de control, medidor y junta flexible o tuerca unión para mantenimiento.

Para la instalación de los medidores se recomienda atender los siguientes aspectos:

El medidor debe colocarse en un tramo de tubería recta (con longitud mínima de cinco veces su diámetro aguas arriba y dos aguas abajo más el espacio del medidor) y libre de piezas especiales (cambio de diámetro o de dirección). En el caso de contar con espacio suficiente, se recomienda un tramo recto de diez diámetros antes del medidor y cinco

después de éste. Para los casos intermedios, la relación de distancias rectas y después del medidor será de 2 a 1.

- La tubería donde se instale el medidor debe operar a tubo lleno.
- Revisar que el sitio donde se encuentra el medidor no se presente reflujos.
- El medidor debe instalarse en un lugar accesible para efectuar las lecturas y facilitar las tareas de mantenimiento del mismo.
- Es necesario verificar periódicamente la exactitud de sus mediciones. Se recomienda instalar piezas especiales en la toma domiciliaria, para realizar estas labores con algún instrumento de medición.
- La caja de medición debe tener las dimensiones mínimas necesarias para una buena operación y manejo de los instrumentos de medición.

2.3 Determinación de las condiciones hidráulicas de funcionamiento

El cálculo de las presiones en una red de tuberías de distribución tiene gran trascendencia, por un lado deben ser lo suficientemente altas para cumplir con los gastos de demanda de los usuarios y por otro, no deben ser muy grandes para no dañar las tuberías, conexiones y disminuir los gastos de fuga.

De acuerdo con la reglamentación correspondiente del Distrito Federal, la presión máxima debe ser de 50 m de columna de agua (m.c.a.) y mínima de 10 m.c.a. En caso de tratarse de un sistema que trabaja por gravedad, partiendo de la elevación máxima del agua en el tanque se procederá a calcular la presión máxima. En relación con los cruceros de las tuberías primarias las presiones resultantes se calcularán respecto al nivel de la calle.

3. FUGAS EN TOMAS DOMICILIARIAS

3.1 Clasificación de las fugas

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

Las fugas por su magnitud, o bien por, sus características cualitativas (Vázquez Luján, 1995) son clasificadas en:

De acuerdo a su magnitud, se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Tabla de clasificación de las fugas

Tipo	Magnitud (l/s)
I	Goteo-0.029
II	0.03-0.37
III	0.38-1.26
IV	1.27 o mayor

Asimismo se dividen en fugas visibles y no visibles. Las fugas visibles, son aquellas que emergen a la superficie y las no visibles son las que no emergen y pueden permanecer ocultas durante un intervalo de tiempo indefinido.

También pueden dividirse en fugas muy pequeñas que son prácticamente exudaciones o goteos, y son difíciles de detectar. Las fugas pequeñas únicamente pueden ser detectadas mediante programas de detección. Finalmente las fugas grandes, que pueden ser evidentes debido a que provocan hundimiento del pavimento, flujo de agua visible, ruido en las casas, baja presión o falta de agua.

En la figura 3.1 muestra la ubicación y frecuencia con que ocurren las fugas en las tomas domiciliarias (Enríquez, Maldonado 1992).

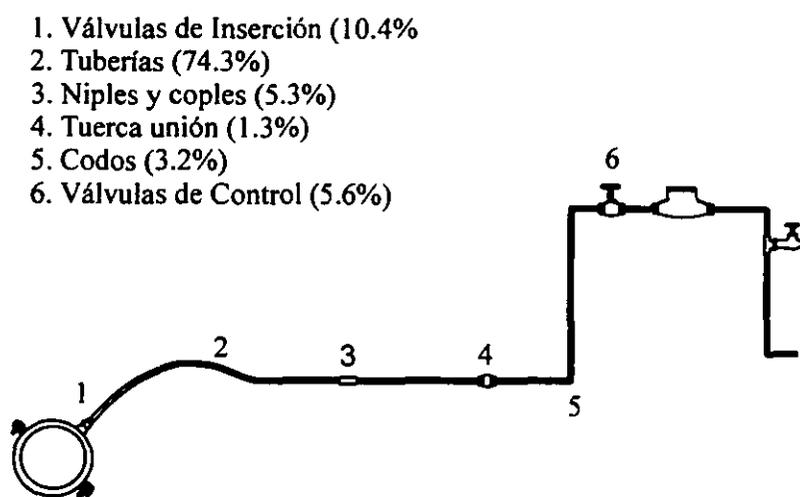


Figura 3.1 Ubicación y frecuencia de fallas en tomas domiciliarias

3.2 Tipos de fallas

Los tipos de falla que se presentan frecuentemente en una toma domiciliaria son: rajaduras, perforaciones, corte o piezas flojas. El primer tipo de fallas se asocia a la mala calidad de los materiales utilizados; el segundo y tercer caso a factores externos y el cuarto a instalaciones defectuosas.

3.3 Causas de las fallas

Las causas de las fallas en tomas domiciliarias se deben principalmente a altas presiones en la red secundaria, corrosión en materiales, cargas externas, movimientos del suelo, mala calidad de materiales y accesorios, falta de capacitación de la mano de obra, edad de tuberías, causas estructurales, golpe de ariete (Vázquez Luján, 1995).

3.3.1 Alta presión

La presión provoca el desarrollo de esfuerzos tangenciales y longitudinales en las tuberías, las cuales pueden dar origen a rajaduras y la separación de componentes. Cuando se realiza una instalación defectuosa en tomas con componentes metálicos y con un sistema de unión que hace la instalación rígida (unión con soldaduras), se presentan fugas en las uniones por el desarrollo de esfuerzos tangenciales. En tomas con componentes plásticos, cuando se presentan sobrepresiones, la tubería del ramal se expande y contrae, debido a los esfuerzos tangenciales entre las uniones del ramal con la abrazadera o con el cuadro que no se realizaron adecuadamente, fallan provocándose la fuga.

3.3.2 Corrosión de materiales

La corrosión externa de tomas domiciliarias metálicas ocurre en suelos con alta conductividad eléctrica (baja resistividad eléctrica), es decir existe alta capacidad de intercambio de electrones. Una contaminación química no uniforme o áreas con bajo o alto contenido de oxígeno pueden incrementar el problema.

El procedimiento para evaluar si un suelo es agresivo está basado en considerar cinco parámetros básicos para una muestra en análisis: resistividad eléctrica, potencial de hidrógeno (pH), cantidad de oxígeno que contiene la muestra de suelo, sulfatos y contenido de humedad. La evaluación de los cinco parámetros contribuye a dar un índice de corrosión de los suelos, pero el parámetro más importante es el de la resistividad eléctrica, la cual representa el nivel de resistencia eléctrica a través de cada centímetro cúbico de suelo de un volumen determinado. Los suelos que presentan una excelente resistencia a la corrosión son las arenas o arenas limosas con resistividades entre 10000 a 6000 Ω -cm, los suelos francos con arenas y con arcillas son regulares, con resistividades que van de 6000-1000 Ω -cm y los suelos malos, proclives a la corrosión son las arcillas y los suelos orgánicos con resistividades que van de 1000-0 Ω -cm.

La presencia de agua en el suelo es uno de los factores que incrementa el desarrollo de la corrosión.

Una fuga aumenta la humedad del suelo y un incremento del nivel freático provoca que el suelo se sature reduciendo su resistividad, incrementándose los niveles de corrosión.

3.3.3 Cargas externas

Las cargas externas de una tubería enterrada, son producto del peso del relleno sobre la toma (carga de la tierra) y cargas instantáneas de vehículos que pasan sobre el pavimento bajo el cual esta la tubería.

La carga total del relleno depende del ancho de la zanja y de la profundidad a la cual se encuentre la tubería.

La carga vehicular ejercida sobre una tubería varía con la superficie de cobertura y tipo de pavimento.

Las tuberías antiguas, no están diseñadas para soportar las cargas externas producidas por el tránsito vehicular moderno, son susceptibles de fracturarse, especialmente aquellas con uniones rígidas. Las tuberías de instalaciones reciente sufren daños similares si la profundidad de colocación y compactación del relleno no es adecuado.

3.3.4 Movimientos del suelo

Un sismo afecta las instalaciones provocando fallas, en mayor o en menor grado dependiendo de su intensidad. En suelos arcillosos que se expanden y contraen se presentan fugas.

3.3.5 Mala calidad de materiales y accesorios

Se refleja en una vida corta de los materiales, reparaciones defectuosas y frecuentes. La mala calidad del material es causa de algunos problemas incluyendo excesivas fallas y presencia de incrustaciones en la tubería.

3.3.6 Mala calidad de la mano de obra

La falta de capacitación del personal trae consigo que los trabajos sean defectuosos y que se caractericen por tener costos elevados y pérdida de tiempo en su ejecución; es indispensable por lo tanto capacitar al personal en: técnicas de instalación y rehabilitación eficientes, suministro de equipo y herramientas necesarias.

3.3.7 Edad de las tuberías

Conforme más antiguas son las tomas, mayor es la incidencia de fallas por el debilitamiento de sus componentes.

Las tuberías antiguas tienden a tener más problemas por las siguientes razones: primero, las técnicas de manufactura utilizadas para su construcción no fueron las más adecuadas,

segundo, no cuentan con capas protectoras por lo que son más susceptibles a la corrosión, tercero, tienen un período de vida útil más corto, producto de efectos graduales como la corrosión o agentes ambientales como el clima.

Se ha comprobado que en tomas con una edad comprendida entre 15 o 20 años los tubos de diámetro pequeño se deterioran más rápido que los grandes, debido a que su resistencia, es proporcional al espesor de la pared y al hecho de que la sección del área se reduce rápidamente por las incrustaciones.

3.3.8 Causas estructurales

Es importante determinar las fuerzas que actúan en las instalaciones de un sistema de agua, ya que son útiles para describir sus efectos en términos de esfuerzos, los cuales se desarrollan principalmente a lo largo de una tubería (eje longitudinal) y alrededor de la misma (eje transversal).

Los tipos de falla que se presentan en una tubería debido a esfuerzos excesivos longitudinales y transversales, dependen principalmente del tipo de material de la misma. Los principales tipos de falla y causas estructurales, en tuberías metálicas, se presentan en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Causas estructurales de falla

Tipo de falla	Esfuerzos que se presentan en los ejes	Causas estructurales
Circunferencial	Longitudinal	Contracción Térmica Fallas de apoyo Presión interna
Longitudinal	Transversal	Cargas externas circundantes Presión interna

Los esfuerzos longitudinales en tuberías pueden ser causados por contracción térmica, fallas de apoyo y efectos de presión.

La contracción de los materiales metálicos, causan esfuerzos de tensión longitudinales en tuberías, cuando está restringida la contracción de la tubería. Esta limitación puede ocurrir en conexiones rígidas.

Las tuberías de agua no están diseñadas para actuar como vigas. Sin embargo en algunas situaciones, una toma queda sin apoyo, ocasionando que esta actúe como una viga. Entre estas situaciones se incluye: cuando en el suelo donde se encuentra apoyada, no se colocó la plantilla, las fugas de agua provocan que el suelo se deslice, etc.

Los esfuerzos longitudinales combinados se presentan debido a cambios de temperatura, alta presión y condiciones de inestabilidad. La contracción térmica causa esfuerzos de tensión adicionales, los que combinados con la flexión debidos a condiciones de inestabilidad, provocan una falla circular.

3.3.9 Golpe de ariete

El golpe de ariete provoca fallas del tipo de rotura longitudinal en las tuberías, producto de las altas presiones que generan las vibraciones en el sistema. Para esto debe capacitarse el personal en la operación de las válvulas para prevenir la formación de ondas de sobrepresión.

3.4 Factores asociados con la presencia de fugas

Existen estudios realizados en Estados Unidos de Norteamérica y Europa, que establecen algunas relaciones entre factores (figura 3.2) y su influencia en la presencia de fugas en líneas principales, estos estudios son de utilidad y se aplican a los problemas de fugas en tomas domiciliarias.

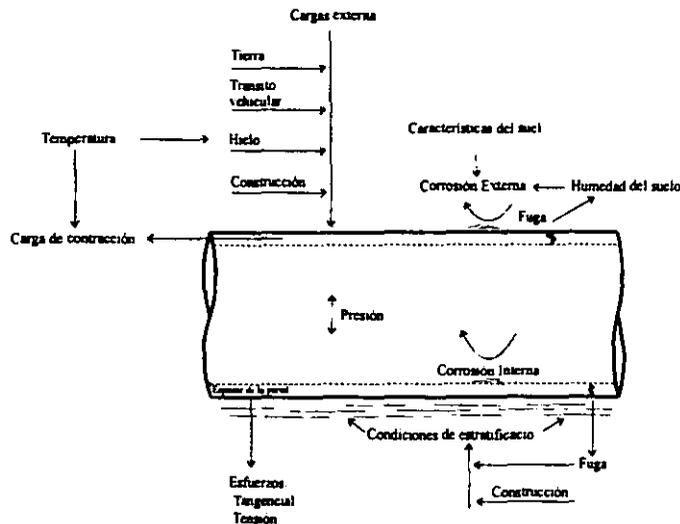


Figura 3.2 Factores asociados con la presencia de fugas en tomas domiciliarias

Algunos resultados de estos estudios se muestran a continuación:

La relación más importante, es la que existe entre el gasto de fuga y la presión hidráulica interna de las redes, debido a que el gasto de fuga se incrementa cuando aumenta la presión.

El tipo de suelo que existe en el lugar donde está instalada la toma domiciliaria es de vital importancia, debido a que se ha identificado como causa de fugas en los sistemas de distribución de agua. En la figura 3.3 se puede observar la relación porcentaje de falla-tipo de suelo.

En la figura 3.3 se observa que el porcentaje de fallas mayor es el que se presenta en suelos cohesivos. Los suelos arcillosos se están sujetos a cambios volumétricos extremos, como resultado de la variación del contenido de humedad, provocándose condiciones esfuerzos cortantes y condiciones de inestabilidad en la instalación.

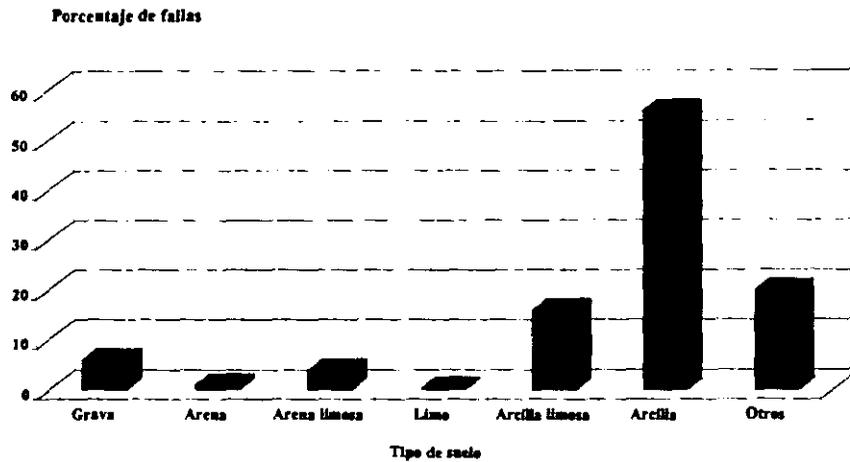


Figura 3.3 Relación porcentaje de fallas-tipo de suelo

En la figura 3.4, se presenta el comportamiento esperado de la edad de las instalaciones- porcentajes de fallas, cuando se realizó una instalación adecuada.

La edad de las instalaciones no es causa fundamental de la presencia de fugas en tomas domiciliarias, esto debido a que existen gran cantidad de sistemas de distribución que llegan a rebasar los 40 años de edad y la ocurrencia de fugas no es mayor que la que se presenta en sistemas con instalaciones más recientes.

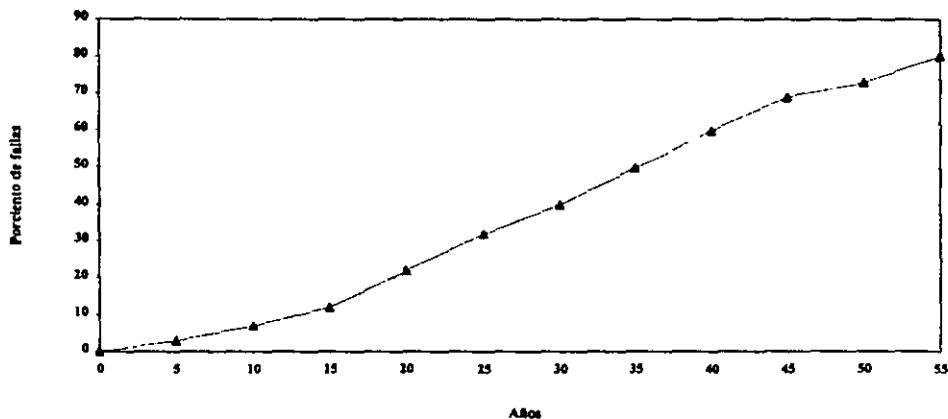


Figura 3.4 Edad de la instalación-porcentaje de fallas

El comportamiento de la figura 3.4 indicaría que la instalación se calculó adecuadamente (material y mano de obra de buena calidad y proceso de construcción eficiente), ya que el porcentaje de fallas se incrementa considerablemente con el transcurso del tiempo.

El proceso de corrosión en los componentes metálicos, se incrementa con el tiempo y el periodo estimado para que se presente una falla por corrosión.

En sistemas de distribución de agua, con tomas domiciliarias de reciente instalación donde el número de fallas es mayor al esperado, es posible que la causa de las fallas sea la mala calidad de los materiales o instalación deficiente (figura 3.5).

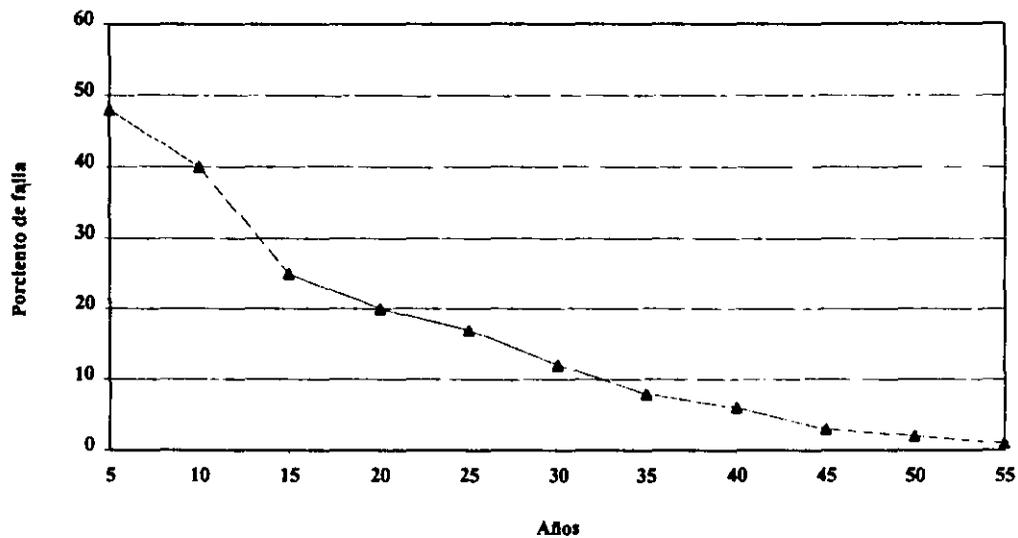


Figura 3.5 Edad de la instalación-porcentaje de fallas

La figura 3.6 se presenta un porcentaje de falla-diámetro de la tubería para tuberías mayores de 6 pulgadas y menores de 16 pulgadas.

La frecuencia de fallas es mayor en tuberías de diámetros pequeños (>8 pulgadas) que en las de diámetro grande. Esto se debe a que el espesor de la pared de tuberías >8 pulgadas es delgado, lo cual provoca una mayor cantidad de fallas.

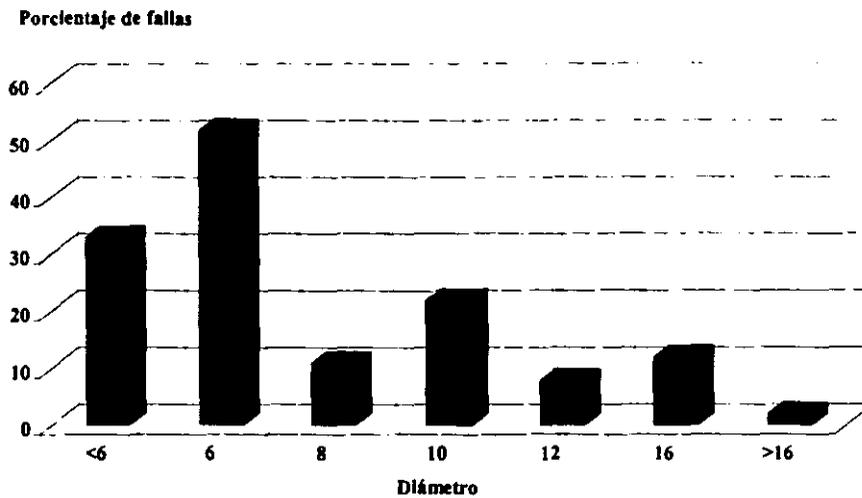


Figura 3.6 Diámetro de la tubería-porcentaje de fallas

En la figura 3.7 se presenta la variación del porcentaje de fallas en tuberías a lo largo del año.

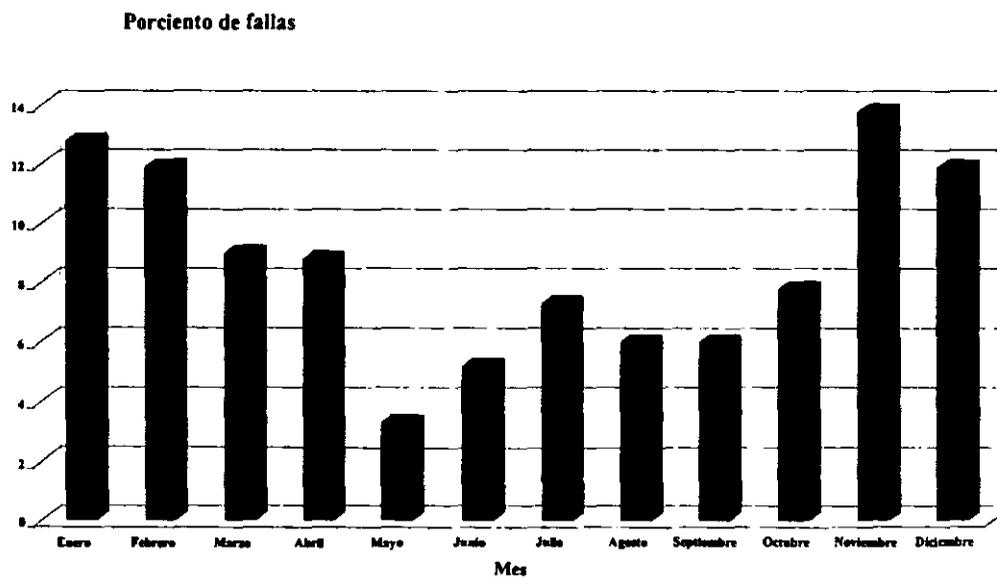


Figura 3.7 Mes-porcentaje de fallas

En la figura 3.7 se observa que en los meses de temperaturas bajas hay un incremento del número de fugas, esto se debe a que la temperatura desciende por debajo de los 0 °C.

En cuanto a la presencia de fugas por el tipo de material, estas se presentan más frecuentemente en materiales metálicos. El fierro fundido es el que causa más fallas, siguiendo el acero, fierro galvanizado, aleaciones de cobre y cobre.

Un factor importante en la presencia de fugas en tomas domiciliarias, es la profundidad a la que se encuentra la toma, en la figura 3.8 se presentan los resultados obtenidos en la ciudad de México (Enríquez , Maldonado 1992).

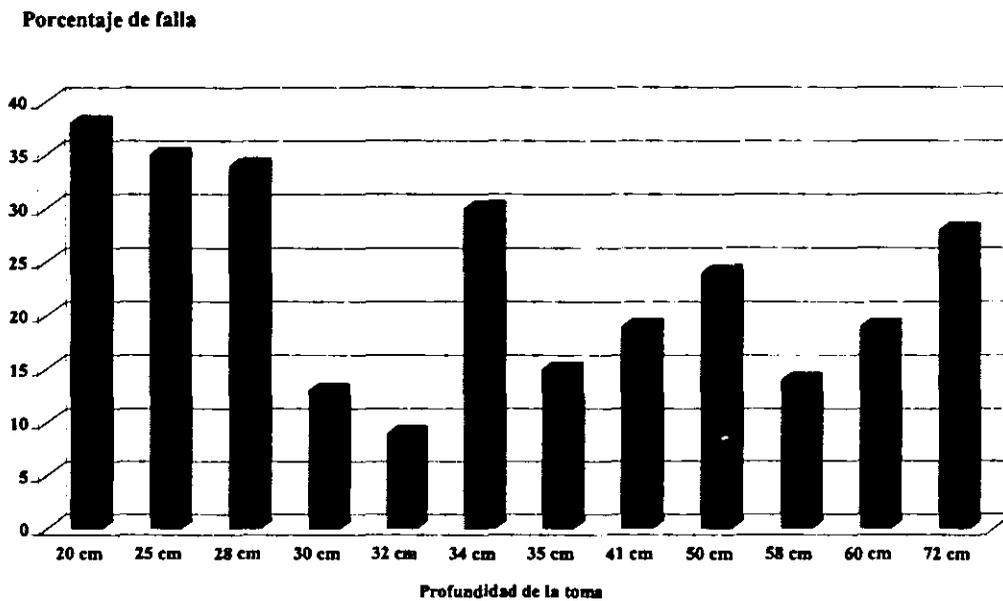


Figura 3.8 Profundidad de la instalación-porcentaje de fallas

El porcentaje de fallas es mayor cuando la profundidad de la instalación es menor a 30 cm o mayor a 60 cm, esto debido a que en una profundidad pequeña el efecto del tránsito vehicular sobre la instalación es mayor, mientras que una profundidad excesiva aumenta el efecto de la carga del relleno sobre la tubería.

4. TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE FUGAS EN REDES DE TUBERÍAS

4.1 Técnicas de detección de fugas

La técnica de los distritos hidrométricos ha sido aplicada durante muchos años con buenos resultados, pero en los últimos años han surgido técnicas aun en etapa experimental que prometen buenos resultados con costos de operación mucho menores que las primeras, tal es el caso del método propuesto por el Instituto de Ingeniería.

Por otra parte existen diversas técnicas de localización de fugas con equipos electrónicos y mecánicos, que utilizan diversos fenómenos provocados por la fuga (ruidos, vibraciones, etc.) para localizar el lugar exacto de ésta.

4.1.1 La técnica de los distritos hidrométricos

Es una de las técnicas de detección de fugas en redes de distribución, que tiene un amplia utilización en México (Arreguín, Ochoa, Fernández, 1997).

Consiste en aislar sectores homogéneos (respecto al consumo de agua) de una red, figura 4.1, donde se realizan mediciones de los volúmenes de abastecidos y volúmenes consumidos por los usuarios del sector, para calcular índices de consumos que determinan una mayor o menor cantidad de fugas.

Un sector homogéneo, está conformado por colonias o zonas que pueden estar separadas dentro de un sistema, pero que cumplen con las siguientes condiciones:

- La red de distribución o el grupo de tomas domiciliarias en el sector, pertenece a usuarios del mismo estrato socioeconómico, es decir presentan similar consumo de agua.
- La red de distribución y el conjunto de tomas domiciliarias en el sector se encuentran sobre un mismo tipo de suelo.
- El conjunto de tomas domiciliarias en el sector es de un mismo tipo de material.

Un Distrito Hidrométrico es un sector de la red de distribución que se aísla desde el punto de vista hidráulico, por medio del cierre de válvulas, dejando una entrada de agua para alimentar al sector, la cual debe ser aforada.

En caso de que los gastos registrados sean importantes y se necesite investigar más a fondo el problema de las fugas, el siguiente paso es medir en segmentos del sector los consumos mínimos nocturnos, instalando para ello aforadores en otros puntos y manipulando las válvulas.

Si los consumos medios determinados a partir de las lecturas del volumen consumido, tomadas durante un mes, en micromedidores domiciliarios previamente calibrados y seleccionados aleatoriamente, son superiores a algún valor máximo admisible, establecido estadísticamente, entonces hay un consumo alto en ese segmento, el cual se debe a que existe consumo industrial o fugas en la red o en las tomas domiciliarias. Por lo tanto se investigan las tuberías de los sectores estudiados, usando detectores de fugas sobre el terreno, y revisando las tomas domiciliarias y otros puntos de acceso a la red de distribución.

Por otro lado el volumen de agua potable que se pierde por fugas en tomas domiciliarias se estima a partir del estudio de dos muestras representativas, cuyo tamaño se determina aplicando la teoría de muestreo aleatorio estratificado, para:

1. Calcular los porcentajes de tomas con fuga en cada estrato o sector del sistema de distribución, mediante la inspección y determinación de la ocurrencia de fugas en tomas seleccionadas y
2. Determinar el gasto promedio que se pierde en tomas con fuga, lo cual se logra con la excavación y aforo de las fugas, y además, reportar las variables físicas que pueden ser la causa de su aparición. Con dicho gasto se calcula el volumen total perdido.

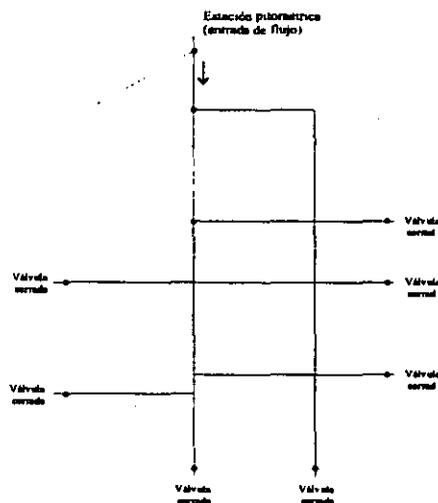


Figura 4.1 Distrito pitométrico típico en el muestreo

4.1.2 Método de detección de fugas mayores en redes propuesto por el Instituto de Ingeniería

Debido a que las mediciones de los gastos en una red de tuberías de agua potable es más complicada de realizar que las de presión; el método de detección de fugas mayores se basa en la medición de presiones en nudos de cruce y una estimación de los gastos de demanda (Fuentes, Sánchez, 1996).

Para aplicar este método es necesario conocer las características de las tuberías (longitudes, diámetros, factores de fricción, etc.) del conjunto de tuberías de la red (distrito pitométrico) en estudio. También se requiere el gasto de entrada al distrito pitométrico, las presiones en los puntos de medición (nudos de cruce). Además de los gastos de demanda teóricos G_n .

A continuación se obtienen gastos de desequilibrio en los nudos de cruce de la red a partir de los gastos que circulan por la red cuando estos se les asignan niveles piezométricos conocidos (a las cargas de presión medidas en estos nudos se les suma una carga de posición determinada).

Para obtener los gastos y las presiones de la red a partir de las mediciones de presión hechas en los nudos de cruce en la red, se utiliza un método para calcular redes de tuberías funcionando a presión en régimen permanente.

Con los gastos (calculados) que circulan en la tubería se aplica la ecuación de continuidad en cada nudo de cruce de la red. Puede suceder que la suma algebraica de los gastos de entrada y de salida que fluyen por las tuberías de la red no sea igual al gasto de demanda. Por lo que resulta un gasto llamado de desequilibrio, es decir, $D_n = \sum Q_j - G_n$, donde $\sum Q_j$ es la suma algebraica de gastos que entran y salen del nudo n y G_n es el gasto de demanda en el nudo de cruce n .

Las tuberías que unen los nudos con gastos de desequilibrios mayores en valor absoluto, distintos de cero, son consideradas posibles lugares donde habrían fugas.

Finalmente para establecer un orden en la localización de las posibles fugas y el valor de los gastos de estas, se sigue un procedimiento que involucra a los niveles piezométricos, los gastos de demanda, parámetros de fugas y coeficientes que están en función de las características de la sección en estudio.

4.1.3 Equipos electrónicos para localizar fugas de manera indirecta

Estos equipos tienen la capacidad de localizar fugas sin que sus sensores se encuentren directamente sobre la misma fuga. Su principio de funcionamiento consiste en capturar las señales vibratorias que las fugas producen. Al escapar el agua se generan sonidos de frecuencias (vibraciones) diferentes a los que se forman cuando el fluido circula por tuberías sin fugas. Las vibraciones se desplazan en las dos direcciones opuestas de la tubería, siendo captadas por sensores convenientemente colocados en contacto con la tubería o con accesorios de la misma.

Las señales generadas alimentan a un microprocesador, que en función de estos datos, da la localización de la fuga. Existen distintos tipos de equipos, entre los cuales destaca el Leak Noise Correlator System (Sistema correlacionador de ruidos de fugas). Hay en el mercado una gran variedad de marcas, aquí se presentan el Detector de Fugas LC-2100, que se observa en la figura 4.2. Este equipo detecta fugas de agua en tuberías presurizadas, de metal, plástico o concreto.

El equipo LC-2100 contiene el correlacionador, dos preamplificadores, dos sensores con cables, audífonos estereos, etc.

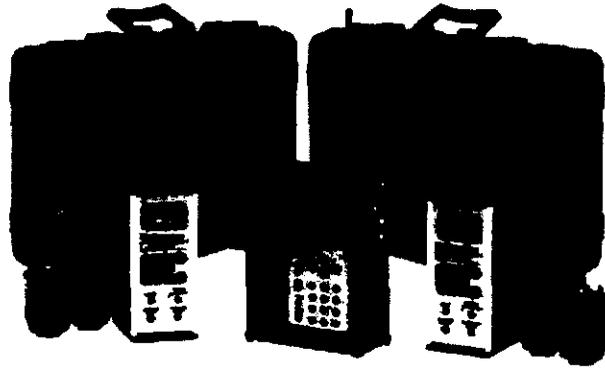


Figura 4.2 Detector de fugas LC-2100

4.1.4 Equipos electrónicos para localizar fugas de manera directa

Estos equipos detectores por determinan el lugar de la fuga en el momento en que el aparato se encuentra en el terreno, exactamente sobre la misma; su principio de funcionamiento se basa en captar las vibraciones generadas por las fugas. Estas vibraciones son amplificadas y transformadas en impulsos electrónicos, las cuales son decodificadas en señales sonoras, audibles para un operador.

Existen una cantidad importante de tipos y marcas en el mercado, aquí únicamente se presenta el Subsurface Leak Detection LD-10. Este detector posee filtros que ayudan a eliminar los ruidos y distorsiones de los sonidos exteriores. En la figura 4.3 y 4.4 se observa el equipo, este posee un amplificador, tres varillas sondas, un micrófono magnético de piso, audífonos y extensiones.



Figura 4.3 Detector de fugas LD-10



Figura 4.4 Operador con micrófono magnético

4.1.5 Detección de fugas con trazadores

La técnica con trazadores consiste en introducir en un tramo de la tubería una sustancia denominada trazador (que es inocua, inodora, sin sabor y fácilmente detectable en pequeñas cantidades); por ejemplo un isótopo, helio, mezclas de metano con nitrógeno y con argón u óxido nitroso. Una vez que todo el tramo contiene trazador, se presuriza a 5 kg/cm^2 . 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.

4.1.6 Varillas de sondeo para detección de fugas

Es un equipo sencillo destinado a la localización de fugas. Consta de una varilla metálica a veces algo sofisticada. La detección de la fuga se realiza colocando un extremo de la varilla en el suelo, o directamente en el tubo, y en el otro contra el oído del operador, siendo posible escuchar los sonidos provocados por las fugas. Para esto el operador debe tener una práctica constante y saber seleccionar el ruido de la fuga de los producidos en el ambiente.

4.1.7 Geófonos mecánicos para detección de fugas

Este equipo es destinado a detectar y localizar fugas no visibles, figura 4.5. Para ello se hace una auscultación del suelo bajo el cual esta la tubería enterrada. Consta de dos cilindros pesados conectados a través de mangueras a un auricular. En el interior de cada cilindro existen dos membranas finas de bronce, formando una caja de resonancia. Cuando los cilindros son colocados en el suelo, capta las vibraciones emanadas de la fuga, lo que hace que vibre la membrana; la vibración es transmitida a lo largo de las mangueras y el auricular hasta el operador.



Figura 4.5 Geófonos para localizar fugas

Debido a la sensibilidad del equipo, únicamente se debe utilizar por las noches, cuando no existe tráfico, y muy poco ruido.

5. DISEÑO DEL DISPOSITIVO FÍSICO

5.1 Consideraciones para el diseño

Para el estudio de fugas en tomas domiciliarias se construyó un dispositivo físico en el Instituto de Ingeniería. El cual reprodujo las variables principales de las tomas domiciliarias utilizadas en México.

De acuerdo con el prototipo de toma domiciliaria (figura 2.1), se analizaron los elementos y accesorios que la constituyen. Se propusieron las longitudes de los tramos de tuberías y la ubicación de varias llaves de nariz. Estas últimas con la idea de medir las presiones, como para extraer los gastos que representan a los de fuga.

Se plantearon varias propuestas para la construcción de este dispositivo físico y del equipo de bombeo que suministraría el agua. Finalmente se escogió el diseño que se observa en la figura 5.1.

El dispositivo tiene una tubería principal que representa a la red secundaria de un sistema de abastecimiento de agua potable, de la cual se derivan las tomas domiciliarias.

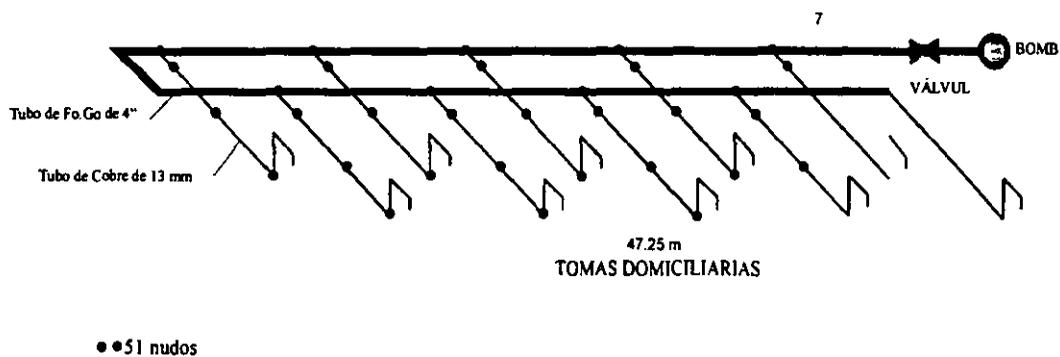


Figura 5.1 Propuesta para el dispositivo físico

El dispositivo físico consta de una tubería de Fo. Go. de 4" de diámetro con aproximadamente 100 m de longitud y diez tomas domiciliarias. Cada una de las tomas tiene cinco llaves de nariz (ubicadas en los lugares donde se presentan las fugas), una está muy cerca de la válvula de inserción y las otras cuatro se reparten a través del ramal y una llave al final del cuadro para considerar el suministro del líquido de demanda a los usuarios, ver figura 5.2. Se dispone de un sistema de recolección de agua para alimentar nuevamente a la bomba que hace posible el funcionamiento del dispositivo.

Las tomas domiciliarias fueron de un solo tipo de material, de aleación de Cobre de 0.5" (13 mm) de diámetro tipo "L" flexible para el ramal y rígido para el cuadro.

En la figura 5.2 se muestran las dimensiones de una toma domiciliaria tipo.

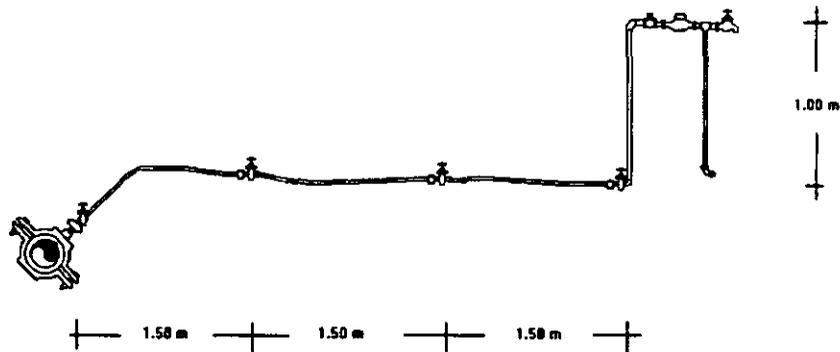


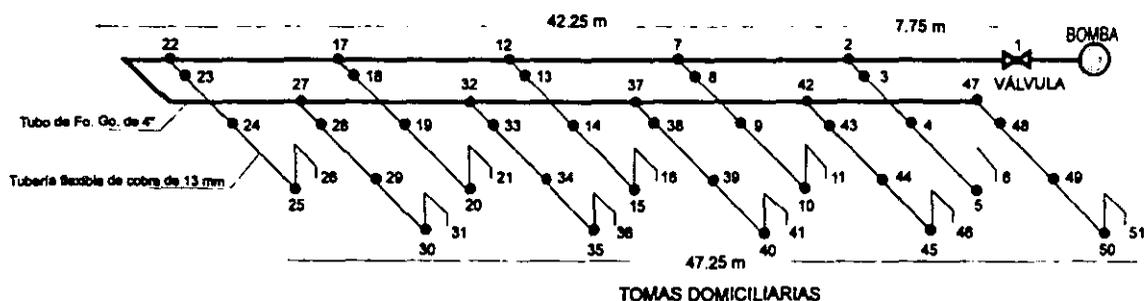
Figura 5.2 Prototipo de la toma domiciliaria a representar en el dispositivo físico

Se numeraron los tramos de tubería así como los nudos, por lo que se contaba con un total de 51 nudos y 50 tramos, como se muestra en la figura 5.3.

5.2 Análisis de las pérdidas totales

Se llevó a cabo el cálculo de las pérdidas de carga a través de la tubería principal y de las tomas domiciliarias, para determinar las características del equipo de alimentación (bomba hidráulica). En la tabla 5.1 se observan las pérdidas de cargas generadas por la tubería de 4" y en la tabla 5.2 las que ocurren en la última toma domiciliaria tipo (que va del nudo 47 al 51). Todas las tomas domiciliarias generaron pérdidas similares.

Se estimo un gasto de 3 l/s a la entrada de la red, suponiendo un gasto de salida de 0.3 l/s en la ultima llave de nariz de las 10 tomas domiciliarias.



••51 Nudos (para simulación de fugas)

Figura 5.3 Numeración de nodos de la red

El diseño se realizó para la condición más desfavorable, por lo tanto las pérdidas totales máximas se presentan a la salida de la última toma domiciliaria. Sumando las pérdidas en la tubería y la última toma domiciliaria se obtiene que la pérdida máxima de 11.29 m.

Tabla 5.1 Cálculo de las pérdidas que se originan en la tubería de 4"

Tramo	Nudo inicial	Nudo final	Gasto l/s	$\frac{Q}{A}$	$\frac{R}{VD/v}$	L m	Accesorios	$\sum K$	f	h_{total} mca	$h_{\text{fricción}}$ mca	h_{total} mca
1	1	2	3.00	0.3700	37595	7.75	Válvula	0.11		0.0008		
			3.00	0.3700	37595	7.75	Cople	0.60		0.0042		
			3.00	0.3700	37595	7.75	Fricción		0.0264		0.0141	0.01901
2	2	7	2.70	0.3330	33836	10.0	Cople	0.60		0.0034		
			2.70	0.3330	33836	10.0	Fricción		0.0268		0.0149	0.0183
3	7	12	2.40	0.2960	30076	10.0	Cople	0.60		0.0027		
			2.40	0.2960	30076	10.0	Cople	0.60		0.0027		
			2.40	0.2960	30076	10.0	Fricción		0.0272		0.0120	0.0173
4	12	17	2.10	0.2590	26316	10.0	Cople	0.60		0.0021		
			2.10	0.2590	26316	10.0	Fricción		0.0278		0.0094	0.0114
5	17	22	1.80	0.2220	22557	10.0	Cople	0.60		0.0015		
			1.80	0.2220	22557	10.0	Cople	0.60		0.0015		
			1.80	0.2220	22557	10.0	Fricción		0.0285		0.0071	0.0101
6	22	27	1.50	0.1850	18797	10.0	Codo	0.90		0.0016		
			1.50	0.1850	18797	10.0	Codo	0.90		0.0033		
			1.50	0.1850	18797	10.0	Cople	0.60		0.0010		
			1.50	0.1850	18797	10.0	Fricción		0.0294		0.0051	0.0110
7	27	32	1.20	0.1480	15038	10.0	Cople	0.60		0.0007		
			1.20	0.1480	15038	10.0	Fricción		0.0307		0.0034	0.0040
8	32	37	0.90	0.1110	11278	10.0	Cople	0.60		0.0004		
			0.90	0.1110	11278	10.0	Cople	0.60		0.0004		
			0.90	0.1110	11278	10.0	Fricción		0.0326		0.0020	0.0028
9	37	42	0.60	0.0740	7519	10.0	Cople	0.60		0.0002		
			0.60	0.0740	7519	10.0	Fricción		0.0357		0.0010	0.0011
10	42	47	0.30	0.0370	3759	10.0	Cople	0.60		0.0000		
			0.30	0.0370	3759	10.0	Cople	0.60		0.0000		
			0.30	0.0370	3759	10.0	Fricción		0.0430		0.0003	0.0004
Suma												0.0954

Tabla 5.2 Cálculo de las pérdidas que origina la última toma domiciliaria

Nudo inicial	Nudo final	Gasto l/s	Area m ²	Velocidad m/s	R VD/v	L m.	Accesorios	K	f	h _{local} mca	h _{fricción} mca	h _{total} mca
47	48	0.3	0.00013	2.26	29382	1.50	Entrada	0.50		0.14		
		0.3	0.00013	2.26	29382	1.50	Válvula	0.05		0.01		
		0.3	0.00013	2.26	29382	1.50	Conexión	0.09		0.02		
		0.3	0.00013	2.26	29382	1.50	Tee	0.24		0.06		
48	49	0.3	0.00013	2.26	29382	1.50	Fricción		0.0421		1.27	1.50
		0.3	0.00013	2.26	29382	1.50	Tee	0.24		0.06		
		0.3	0.00013	2.26	29382	1.50	Fricción		0.0421		1.27	1.33
49	50	0.3	0.00013	2.26	29382	1.50	Tee	0.24		0.06		
		0.3	0.00013	2.26	29382	1.50	Fricción		0.0421		1.27	1.33
		0.3	0.00013	2.26	29382	1.50	Tee	0.24		0.06		
50	51	0.3	0.00013	2.26	29382	1.50	Codo	0.90		0.23		
		0.3	0.00013	2.26	29382	1.50	Codo	0.90		0.23		
		0.3	0.00013	2.26	29382	1.50	Tee	0.24		0.06		
		0.3	0.00013	2.26	29382	1.50	Medidor	5.53		1.44		
		0.3	0.00013	2.26	29382	1.50	Llave de Globo	10.00		2.60		
		0.3	0.00013	2.26	29382	1.50	Llave de Nariz	0.15		0.04		
		0.3	0.00013	2.26	29382	1.50	Tee	1.00		0.26		
		0.3	0.00013	2.26	29382	1.50	Fricción		0.0421		1.27	6.20
Suma											10.19	

* El diámetro del tubo de Cobre es de 13 mm.

Se revisó que en el diseño del dispositivo, el flujo en las tuberías fuera en régimen turbulento.

5.3 Sistema de bombeo, recirculación del agua y aforadores

Teniendo la pérdida máxima generada de 11.29 mca, se consideró que para los ensayos se requeriría de tener al final de la ultima toma domiciliaria 10 mca, por lo tanto se instaló una bomba hidráulica marca CUMA de 30 lps, con carga dinámica total de 30 mca, potencia de 20 HP y eficiencia de 75%.

Una vez que se definió la red y el sistema de bombeo, se construyó un sistema de recirculación de agua. Éste consiste en un conjunto de canales de lámina galvanizada (canaletas) con pequeños vertedores ubicados adecuadamente para medir los gastos en los tramos que se tienen y el caudal que sale por cada una de las llaves de nariz.

El sistema de canales recolecta el agua que sale por las llaves de nariz y la conduce hacia un tanque depósito, en el cual se mide el gasto total que circula por toda la red a través de un

vertedor triangular cuyas características se muestran en la figura 5.4. Una vez que el flujo es aforado, cae en el cárcamo que alimenta a la bomba encargada de suministrar la presión necesaria al dispositivo de pruebas.

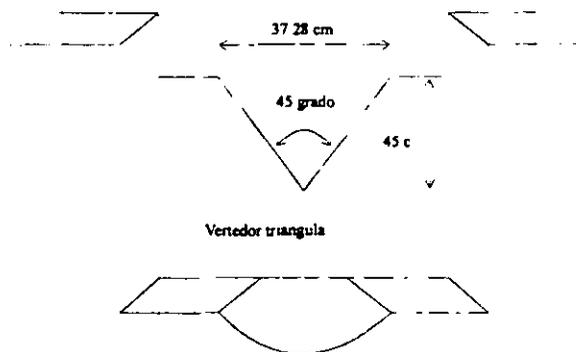


Figura 5.4 Vertedor triangular del tanque de recolección de agua

Para diseñar las dimensiones de las canaletas se tomó la condición de flujo uniforme. En un canal con cierta pendiente y rugosidad de la fórmula de Manning, n , que debe conducir un gasto de 0.3 l/s, la condición de flujo uniforme se considera como criterio que gobierna el área de la sección transversal mínima requerida. En la figura 5.5 se observa un tramo un detalle de las canaletas.

El diseño consistió en calcular la geometría de la sección requerida, la pendiente y el gasto que circula.

La ecuación para flujo uniforme es

$$AR_v^{2/3} = \frac{nQ}{\sqrt{S}} \quad (5.1)$$

En el análisis de las canaletas se consideró que se tendría al final de las tomas domiciliarias una carga hidráulica de aproximadamente 10 mca.

La presión en el nudo 1, a la entrada de la red, debe ser aproximadamente 22 *mca*, para que en la última toma existan 10 *mca*. Esto sucede cuando están abiertas las últimas llaves de nariz del cuadro de todas las tomas domiciliarias.

El gasto de diseño que se consideró que circulan por la red fue de 3 *l/s*

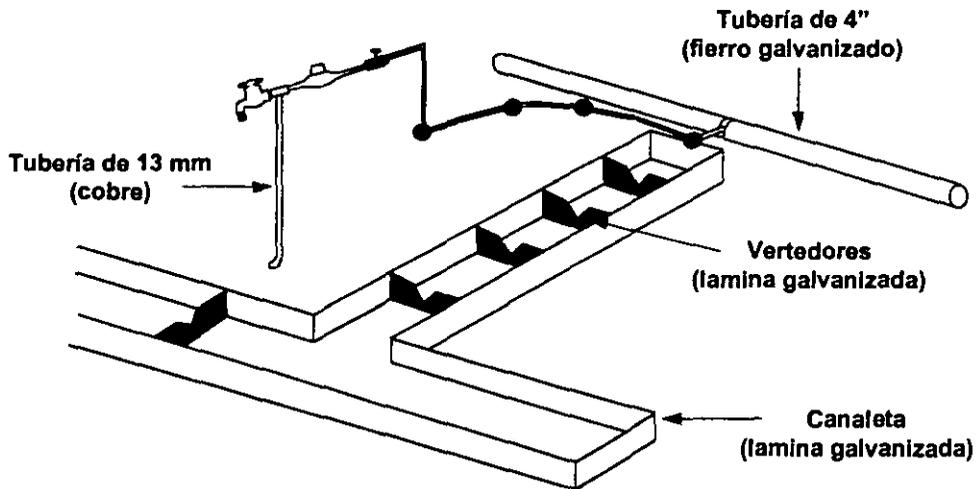


Figura 5.5 Detalle de las canaletas de recirculación

A continuación damos un ejemplo del diseño de un tramo de canaletas:

El primer tramo tiene 5 llaves de manguera por lo que circula un gasto de 1.5 *l/s* o 0.0015 *m³/s*. Si se usa una pendiente de tramo de 0.002, con un coeficiente de rugosidad *n* de 0.014, aplicando la ecuación 5.1:

$$AR_h^{2/3} = 0.00047$$

Para obtener una dimensión de la canaleta se supone una base de 0.20 m. La solución se hace por medio de un procedimiento iterativo. En la tabla 5.3 se presentan los resultados.

Tabla 5.3 Resultados del proceso iterativo para encontrar el tirante normal

Tirante normal y_n (m)	Area by_n (m)	Perímetro mojado $b+2y_n$ (m)	Radio hidráulico $R_h=(by_n)/(b+2y_n)$	$AR_h^{2/3}$
0.062	0.0124	0.324	0.03827	0.00047

El tirante normal es igual a 0.062 m. El bordo libre se fijó de más del 150% del tirante normal calculado, por que al salir el agua con presión fácilmente podría rebasar la altura del tirante normal, por lo que se propuso una altura de 0.20 m.

Por lo tanto este tramo de 25 m tiene dimensiones de 0.20 m por 0.20 m.

El diseño del vertedor para aforar el gasto total que circulaba por las canaletas fue realizado de acuerdo al gasto de 0.30 l/s de cada llave de nariz, manejando de esta manera un gasto total en el sistema de 21 l/s (en el supuesto de que las 70 llaves se abrieran al mismo tiempo). La opción considerada fue la de un vertedor de sección triangular.

La ecuación para calcular el gasto usando un vertedor triangular de acuerdo a la Universidad Católica de Chile es:

$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \left(\tan \frac{\theta}{2} \right) K \mu b h^{1.5} \quad (5.2)$$

Donde μ es un coeficiente experimental función de la carga h , aguas arriba del vertedor, θ es el ángulo del vertedor (figura 5.4) y K es un coeficiente (depende de la relación B/h).

Se eligió una abertura de 45°, para contar con una carga adecuada para realizar las mediciones y disminuir el margen de error. En la Tabla 5.4 se muestra el cálculo para el diseño del vertedor triangular, pero también con esta tabla se diseñaron pequeños vertedores triangulares que se colocaron en las canaletas para aforar los gastos de fuga.

La ecuación de regresión obtenida de los datos de la tabla 5.4 fue la siguiente:

$$Q = 593.13H^{2.498} \quad (5.3)$$

Tabla 5.4 Valores empleados para el diseño del vertedor triangular

H m	μ	B/H	K	Q l/s	Q l/s	Ecuación de ajuste
0.0100	0.5000	37.28	1.000	0.0049	0.0049	0.0061
0.0200	0.6200	18.64	1.000	0.0343	0.0343	0.0342
0.0300	0.6750	12.43	1.000	0.1030	0.1030	0.0941
0.0350	0.6780	10.65	1.000	0.1520	0.1520	0.1382
0.0400	0.6720	9.32	1.000	0.2104	0.2104	0.1929
0.0500	0.6570	7.46	1.000	0.3594	0.3594	0.3366
0.0600	0.6450	6.21	1.000	0.5566	0.5566	0.5304
0.0700	0.6350	5.33	1.000	0.8055	0.8055	0.7792
0.0800	0.6280	4.66	1.000	1.1124	1.1124	1.0873
0.0900	0.6230	4.14	1.000	1.4814	1.4814	1.4588
0.1000	0.6200	3.73	1.000	1.9185	1.9185	1.8974
0.1100	0.6180	3.39	1.000	2.4268	2.4268	2.4067
0.1200	0.6160	3.11	1.000	3.0068	3.0068	2.9902
0.1300	0.6130	2.87	1.000	3.6550	3.6550	3.6512
0.1400	0.6120	2.66	1.005	4.3918	4.3918	4.3928
0.1500	0.6110	2.49	1.008	5.2101	5.2101	5.2179
0.1600	0.6109	2.33	1.009	6.1213	6.1213	6.1296
0.1700	0.6108	2.19	1.010	7.1219	7.1219	7.1305
0.1800	0.6107	2.07	1.012	8.2145	8.2145	8.2235
0.1900	0.6106	1.96	1.015	9.4019	9.4019	9.4111
0.2000	0.6105	1.86	1.018	10.6864	10.6864	10.6960
0.2100	0.6104	1.78	1.020	12.0708	12.0708	12.0806
0.2200	0.6103	1.69	1.025	13.5573	13.5573	13.5673
0.2300	0.6102	1.62	1.030	15.1483	15.1483	15.1587
0.2400	0.6101	1.55	1.040	16.8462	16.8462	16.8569
0.2500	0.6100	1.49	1.045	18.6532	18.6532	18.6642
0.2600	0.6100	1.43	1.050	20.5748	20.5748	20.5830
0.2700	0.6100	1.38	1.060	22.6106	22.6106	22.6153
0.2800	0.6100	1.33	1.068	24.7627	24.7627	24.7633
0.2900	0.6100	1.29	1.078	27.0332	27.0332	27.0292
0.3000	0.6100	1.24	1.080	29.4243	29.4243	29.4149

Los puntos teóricos y la curva ajustada se dibujaron y se muestran en la figura 5.6

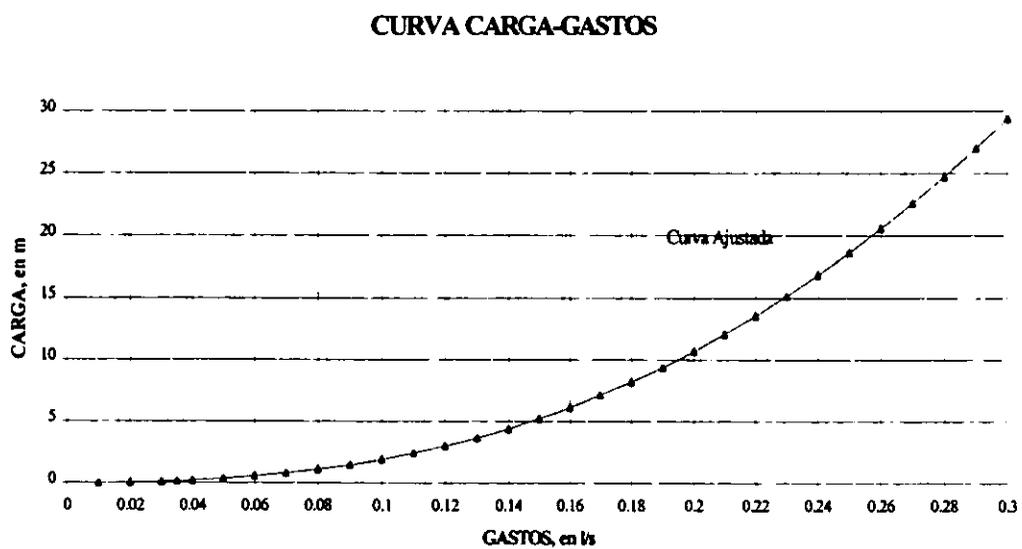


Figura 5.6 Gráfica ajustada al gasto del vertedor triangular

6. MÉTODO PARA DETECTAR FUGAS EN TOMAS DOMICILIARIAS

De acuerdo a observaciones realizadas en el dispositivo físico, para el estudio de pérdidas de carga generadas por fricción y trabajos sobre el tema (Enríquez, Vázquez y Ochoa, 1994) se planteó el método para identificar a las tomas domiciliarias que presentan fugas.

El método se aplica sobre secciones de tubería de la red que tiene conectadas varias tomas domiciliarias. Es conveniente emplearlo en las tuberías de la red secundaria donde probablemente existan fugas en las tomas domiciliarias o que se ha identificado como una tubería con posibles fugas mediante procedimiento para localizar fugas en redes de tuberías (Fuentes y Sánchez 1996).

6.1 Fundamentos del método

Las tuberías de la red secundaria que tienen conectadas las tomas domiciliarias funcionan como conductos a presión. Para determinar las condiciones de flujo en conductos cerrados a presión se emplean las ecuaciones de conservación de cantidad de movimiento y de energía para una longitud de tubería L (volumen de control), como se observa en la figura 6.1.

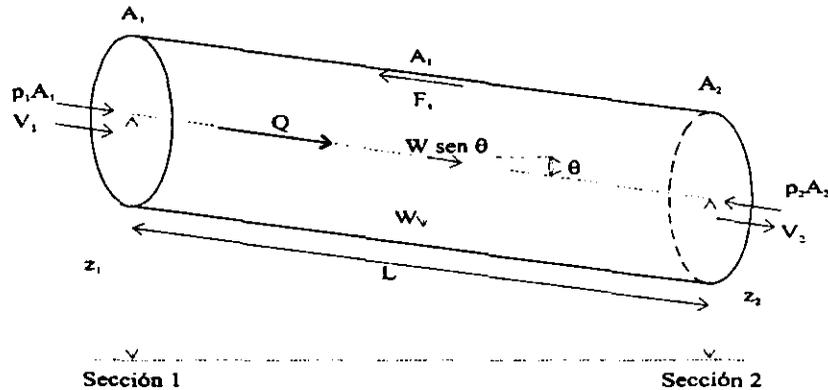


Figura 6.1 Segmento de una tubería

En una tubería de sección circular de diámetro constante con flujo permanente al aplicar la ecuación de cantidad de movimiento resulta que la suma de las fuerzas externas es

$$\sum F = \rho Q (V_2 - V_1)$$

pero $V_2 = V_1 = 0$, tienen la misma magnitud, dirección y sentido opuesto, por lo tanto

$$\sum F = 0 \quad (6.1)$$

Las fuerzas actuantes sobre este volumen de control son los empujes debido a la presión sobre las caras extremas $p_1 A_1$ y $p_2 A_2$, el peso W y la fuerza cortante F_c , (fuerza que aplica el contorno sólido sobre el líquido), así

$$p_1 A_1 + p_2 A_2 + W + F_c = 0 \quad (6.2)$$

Si se emplea la ecuación de conservación de la energía para el volumen de control de la figura 6.1, se obtiene

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_f \quad (6.3)$$

en este caso, por ser $V_2 = V_1 = 0$ y por considerar que solo existen pérdidas por esfuerzo cortante, la ecuación 6.3 se reduce a

$$\left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma}\right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma}\right) = h_f \quad (6.4)$$

Al respecto de la ecuación 6.2 debe tomarse en cuenta que, los empujes $p_1 A_1$ y $p_2 A_2$ tienen la misma dirección pero de sentidos opuestos. El componente del peso W sobre el eje longitudinal es $W \sen \theta$ y, finalmente la fuerza cortante F_c , aplicada al contorno sólido sobre la superficie lateral, tiene dos componentes, una normal F_{cn} y otra tangencial F_τ , siendo esta última la que actúa sobre el eje de la tubería y con oposición al flujo.

Por lo tanto la ecuación 6.2 resulta:

$$p_1 A_1 - p_2 A_2 + W \sen \theta + F_\tau = 0 \quad (6.5)$$

El esfuerzo cortante viscoso τ_o que actúa a nivel del contorno sólido se considera constante a lo largo de la superficie A_L , de manera que puede escribirse

$$F_\tau = \tau_o A_L = \tau_o \pi DL \quad (6.6)$$

El peso W es igual al volumen cilíndrico por el peso específico del líquido

$$W = \frac{\pi D^2}{4} L \gamma \quad (6.7)$$

reemplazando la ecuación 6.6 y 6.7 en la 6.5 y si $L \sin \theta = z_1 - z_2$, agrupando términos y despejando τ_o , resulta

$$\tau_o = \left[\left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) \right] \gamma \frac{D}{4L}$$

Reemplazando la ecuación 6.4 en la anterior se obtiene

$$\tau_o = \frac{h_f}{L} \gamma \frac{D}{4} \quad (6.8)$$

Por lo tanto se llega a la siguiente ecuación

$$S_f = \frac{h_f}{L} = \tau_o \frac{4\gamma}{D} \quad (6.9)$$

Donde S_f es la pérdida de energía por unidad de longitud, pérdida de energía unitaria o pendiente de fricción.

De la ecuación 6.9 se observa que S_f es una constante que depende del esfuerzo cortante, peso específico del fluido y diámetro.

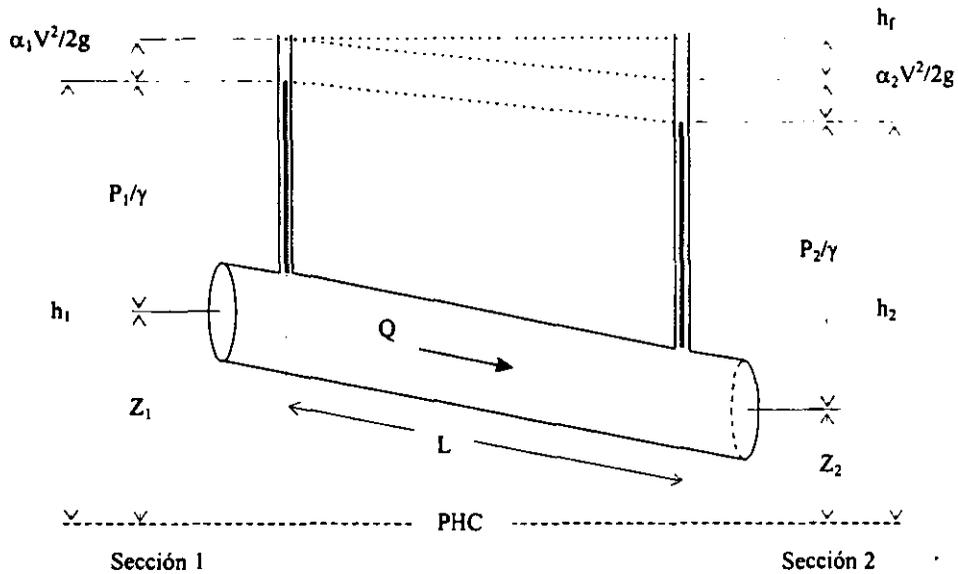


Figura 6.2 Niveles piezométricos en una tubería.

Entonces de acuerdo a la ecuación 6.9 se considera que la variación de la presión a lo largo de la tubería es lineal cuando el flujo es permanente o en su caso las variaciones del flujo son muy pequeñas con el tiempo, como generalmente sucede; este cambio lineal de la presión con respecto a la longitud, se representa por medio de la línea de cargas piezométricas.

Por lo tanto el gasto de fuga en la toma domiciliaria da lugar a dos comportamientos distintos de las presiones a lo largo de la tubería de la red secundaria, de acuerdo al sitio donde se ocurre, ya sea en la válvula de inserción o en el ramal o cuadro.

6.1.1 Fuga en la válvula de inserción

En la figura 6.3 se presenta un tramo de la tubería de la red secundaria con tres tomas domiciliarias. Se han incluido tres tubos piezométricos en los sitios donde se encuentran las tomas para mostrar el cambio de la línea de piezométrica con y sin fuga.

Cuando no existe fuga y se suspende la entrada de agua a los domicilios ($q_{i-1}=q_i=q_{i+1}=0$) a través de las tomas domiciliarias t_{i-1} , t_i y t_{i+1} , el gasto antes de la toma t_{i-1} y el de después de

la toma t_{i+1} es el mismo. En estas condiciones, la línea piezométrica tiene el mismo gradiente entre las tres tomas.

Por ser lineal la variación de la pérdida de carga, en la toma del centro (t_i) se tendría una presión igual al promedio ponderado de las presiones de las tomas de las orillas. Tal que se plantea en términos de las distancias (x_i y x_{i+1}) entre las tomas con esta ecuación:

$$p_p = \left[\frac{x_i}{x_i + x_{i+1}} \right] p_{i-1} + \left[\frac{x_{i+1}}{x_i + x_{i+1}} \right] p_{i+1}$$

Cuando existe una fuga en la válvula de inserción en la toma del centro (t_i), el gasto que fluye entre las tomas t_{i-1} y t_i es mayor que en el tramo entre las tomas y t_i y t_{i+1} en el cual pasa un gasto menor y en este tramo se presenta un mayor gradiente de la línea piezométrica, como se ve en la figura 6.3. En este caso la presión en la toma central difiere de la presión estimada con el promedio ponderado.

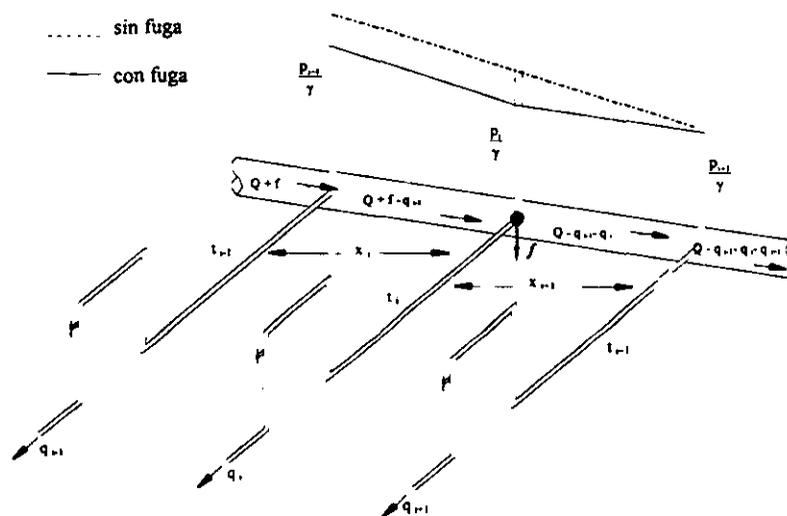


Figura 6.3 Tomas domiciliarias con una fuga en la válvula de inserción

6.1.2 Fuga en el ramal o cuadro

En la figura 6.4 se presenta un tramo de la tubería de la red secundaria con tres tomas domiciliarias y en la del centro (t_i) existe una fuga en el ramal o cuadro.

Cuando no hay ingreso de agua a los domicilios, el gasto de fuga a lo largo del ramal o el cuadro provoca que en el punto de fuga la presión sea menor que la presión p_i que existe cerca de la válvula de inserción, debido a que el diámetro de la tubería de la toma domiciliaria es menor al de la tubería de la red secundaria (13mm) el gasto de fuga produce una pérdida de carga a lo largo de la tubería de la toma hasta el sitio de la fuga. En este caso la presión en el sitio de la fuga p_i es menor a la presión p_i . A ello se debe que el aspecto de las línea piezométrica de la figura 6.4.

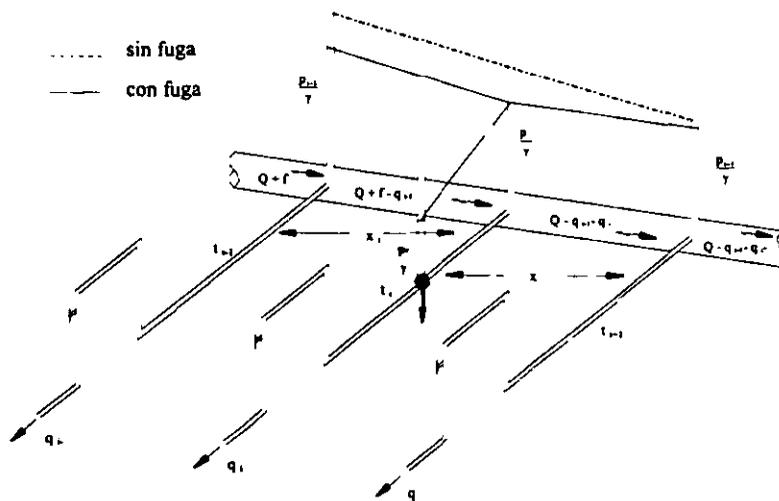


Figura 6.4 Tomas domiciliarias con una fuga en el ramal

En este caso la presión p_i es menor al promedio ponderado p_p ; al notar una diferencia entre las presiones p_i y p_p se considera la existencia de una fuga. Este tipo de fuga es más fácil de detectar, que la de la válvula de inserción, porque la presión p_i se genera en un tramo del ramal donde existe una pérdida de carga más grande.

Como la diferencia entre las presiones p_i y p_p se acentúa conforme es más grande la fuga o menor es el diámetro de la tubería de la red secundaria. Así, para ambos tipos de fuga, solamente es posible detectarla a partir de cierta magnitud del gasto de la fuga en adelante.

Para aplicar el método se considera que las tomas domiciliarias funcionan como tubos piezométricos para conocer la presión en la tubería de la red secundaria. Sin embargo, para que lo anterior sea posible, en la toma domiciliaria no debe haber flujo. Ya que de otra manera, se tendrían que determinar las pérdidas de carga debido a las características de cada toma domiciliaria en cuanto a longitud, diámetro, medidores de flujo, piezas especiales, etc. habría que tomarlas en cuenta en las mediciones.

Sería preferible medir la presión antes del medidor, pero como no está permitido que estén instaladas llaves de nariz antes del medidor, se utilizará la llave de manguera localizada al final del cuadro. En esta llave se conectaría el manómetro Bourdon, para medir la presión. De este modo se estaría determinando la presión p_i mencionada para ambos casos de fuga. Las mediciones podrían tener cierta incertidumbre debido a las obstrucciones causadas por corrosión, incrustaciones de materiales y mal estado de medidores en las tomas domiciliarias.

6.2 Método propuesto

De pruebas preliminares en el modelo construido en el laboratorio se observó que para aplicar el procedimiento de detección de fuga se requiere que las presiones en la tubería de la red donde están conectadas las tomas domiciliarias sean mayores a 1 *mca* para tener lecturas confiables con los manómetros Bourdon. En caso de que en una red real existan variaciones de presiones durante el día sería recomendable hacer las mediciones durante el tiempo en que la red tiene presiones más grandes, o el lapso más cercano a ese tiempo en el cual hubiere posibilidad de efectuar las lecturas.

Es necesario que en los domicilios exista una válvula después de la llave de manguera que forme parte de la toma domiciliaria para impedir el ingreso de agua al domicilio durante el periodo en que se realiza la medición de la presión.

Se fija el valor del factor de fuga F del criterio de búsqueda de fuga de acuerdo con el diámetro de la tubería de la red secundaria en la cual están las tomas domiciliarias y la presión en esta tubería. El valor de F es mayor o igual a 1.15. El método se resume en los siguientes pasos:

1. Sobre la tubería de la red secundaria seleccionada se identifican las tomas domiciliarias en las que se hará la búsqueda de las fugas. También se forman grupos de tres tomas domiciliarias. Si n es el número de tomas domiciliarias de la tubería y t_i representa a la i -ésima toma, se forman $n-2$ grupos de tres tomas domiciliarias:

$$(t_1, t_2, t_3), (t_2, t_3, t_4), (t_3, t_4, t_5), \dots, (t_{n-3}, t_{n-2}, t_{n-1}), (t_{n-2}, t_{n-1}, t_n).$$

2. Se establece el primer grupo de tres tomas asignándole el valor de $j=1$.
3. Se consideran las tres tomas domiciliarias t_{i-1} , t_i y t_{i+1} del grupo j . Así se está analizando la i -ésima toma domiciliaria, donde $i=j+1$.
4. Para las tres tomas domiciliarias del grupo j en estudio, se cierran las válvulas que se ubican después de la llave de manguera para evitar que ingrese agua a los domicilios durante el tiempo de medición.
5. Se mide la presión de cada una de las tres tomas del grupo j conectando un manómetro Bourdon o celda de presión a la llave de manguera final del cuadro de las tomas.
6. Se denotan como p_{i-1} , p_i , y p_{i+1} a las presiones medidas en las tomas t_{i-1} , t_i y t_{i+1} tomas domiciliarias respectivamente.

7. Se miden las distancias x_i entre las tomas t_{i-1} y t_i y la distancia x_{i+1} entre las tomas t_i y t_{i+1} .

8. Se obtiene la “presión de prueba”, p_p , en la toma i con la ecuación:

$$p_p = \left[\frac{x_i}{x_i + x_{i+1}} \right] p_{i+1} + \left[\frac{x_{i+1}}{x_i + x_{i+1}} \right] p_{i-1}$$

9. Se compara la presión p_i con respecto a la presión de prueba p_p . Cuando se cumple la condición

$$p_p / p_i \geq F$$

sé afirma que existe una posible fuga en la i -ésima toma domiciliaria.

10. Se incrementa en uno el valor de j . Si j es menor o igual a $n-3$ y sé continua con el paso 3; de otro modo se sigue con el paso 11.

11. Para la primera toma domiciliaria ($i = 1$) se considera al grupo (t_1, t_2, t_3) y que la presión de prueba es

$$p_p = p_2 + \left(\frac{x_2}{x_3} \right) (p_2 - p_3)$$

Para la última toma domiciliaria ($i = n$) se emplea el grupo (t_{n-2}, t_{n-1}, t_n) y la presión de prueba se obtiene con la siguiente ecuación

$$p_p = p_{n-1} + \left(\frac{x_n}{x_{n-1}} \right) (p_{n-1} - p_{n-2})$$

En ambas tomas se compara la presión p_p con respecto a la medida, p_1 para la primera y p_n para la última, para determinar si existe una posible fuga.

7. ENSAYOS REALIZADOS EN EL DISPOSITIVO FÍSICO

7.1 Equipos de medición

Las mediciones de presión en el dispositivo físico se realizaron por medio de tres equipos diferentes:

- a) Manómetros de carátula (seco, patrón y con glicerina).
- b) Manómetros diferenciales abiertos (piezómetros).
- c) Celdas de presión.

A lo largo de la tubería principal de cuatro pulgadas se hicieron perforaciones y colocaron válvulas neumáticas, para instalar los manómetros y realizar las mediciones de presión.

Las primeras mediciones de presión en el dispositivo fueron hechas con los manómetros de carátula. Para ello se revisaron los intervalos de presión en los que se podía medir. Se

diseñó un sistema de purga que constó de dos válvulas para control del flujo, una de ingreso y otra de expulsión, un adaptador para las válvulas neumáticas (*colocadas en la tubería principal*) y una válvula neumática para la instalación de los manómetros de carátula.

Para las mediciones de presión a lo largo de las tomas domiciliarias se diseñó otro dispositivo de purga, la única diferencia con el anterior es que se le adaptó una manguera en la parte donde se coloca el manómetro para observar con facilidad las lecturas. Cabe mencionar que esta sirve para los manómetros de carátula, las celdas de presión y los manómetros diferenciales.



Figura 7.1 Manómetro de carátula

En las primeras pruebas se midió con manómetros de carátula. Se colocaba en la entrada un manómetro de 4 kg/cm^2 con glicerina (evitaba las vibraciones de la aguja y se obtenía una lectura más precisa), para conocer la presión en la entrada; las mediciones de presión en las tomas domiciliarias se realizaron con un manómetro patrón con un rango de 2 kg/cm^2 , para que la lectura que se obtuviera fuera directa, sin tener que ser corregida por una calibración posterior en una balanza de calibraciones.

El valor menor de presión a la entrada de la red, con que se diseñaron las pruebas fue de 0.3 kg/cm^2 . Las presiones fueron medidas con el manómetro patrón pero siempre había la posibilidad de errores debido a lo tosco que resultan los sistemas analógicos. Lo cual requirió la utilización de las celdas de presión, que pueden medir diferencias muy pequeñas

de presión. También fue con el fin de corroborar las mediciones hechas con el manómetro patrón.



Figura 7.2 Celda de presión

El uso de los manómetros diferenciales abiertos permitió realizar una comparación entre las lecturas tomadas tanto con las celdas de presión como con los manómetros de carátula. Debido a que las presiones mínimas manejadas eran 3 *mca*, (una presión muy grande para un piezómetro teniendo como único fluido agua) se decidió utilizar un segundo líquido de mayor gravedad específica, como es el mercurio. Los manómetros se diseñaron de modo que funcionaran como manómetros absolutos dejando uno de sus extremos abierto expuesto a la presión atmosférica.



Figura 4.3 Manómetro diferencial abierto.

7.2 Metodología de las pruebas realizadas

De acuerdo al método propuesto para detección de fugas en tomas domiciliarias los ensayos se realizaron de la siguiente manera:

- El primer paso consistía en poner en operación el dispositivo físico y se esperaba de 5 a 10 minutos para que el flujo se regularizara.
- Con la válvula de globo ubicada después de la bomba, se establecía la presión de entrada. Dicha presión debía de estar dentro del rango de 0.3 a 4 kg/cm^2 . Esto debido a que se comprobó en pruebas preliminares, que presiones menores a 0.3 kg/cm^2 en la entrada de la red generaban presiones muy bajas en las tomas domiciliarias las cuales los manómetros no detectaban. En cuanto al límite superior de presiones de 4 kg/cm^2 , fue impuesto debido a que en las redes de abastecimiento de agua potable se llegan a generar estas presiones.
- De acuerdo a lo programado antes de comenzar la prueba se seleccionaba aleatoriamente el grupo o los grupos de tomas domiciliarias y se abrían las llaves de nariz al final del cuadro de las tomas domiciliarias que debían tener flujo. La abertura debía permitir la salida de un gasto aproximado a 0.10 l/s por cada llave. Este gasto fue seleccionado a priori.
- Se realizaban los aforos volumétricos para conocer el gasto que fluía por cada llave de nariz abierta (los aforos se hacían varias veces por cada llave para reducir el margen de error en la lectura y sacar un promedio aritmético de los valores de los gastos).
- Se tomaba la lectura del limnómetro del cárcamo de bombeo para conocer el gasto total que circulaba a través del dispositivo físico. Con esta lectura y la ecuación de descarga del vertedor triangular se obtenía el gasto total.

- Posteriormente se establecían las condiciones sin fuga y se tomaban las presiones en cada llave de nariz (con celdas de presión o manómetros de carátula) del grupo o los grupos seleccionados de tres tomas domiciliarias si así lo requería la prueba, en caso contrario únicamente se tomaban presiones en la llave de nariz que estaba colocada al final del cuadro de cada toma.
- Para la condición con fuga, se abría la llave de nariz después de la abrazadera o en su caso cualquiera de las llaves colocadas para simular fugas en el ramal, esto en la toma central del grupo de tres.
- Se realizaba el aforo volumétrico de la fuga o fugas, en caso de que se presenten dos fugas en el sistema al mismo tiempo, como sucedió en algunas pruebas.
- Se tomaban las presiones en todas las llaves de nariz colocadas en el grupo de tres tomas, si así lo requería la prueba, en caso contrario únicamente se tomaban presiones en la llave de nariz que estaba colocada al final del cuadro de cada toma.
- Si se deseaba continuar con el siguiente grupo de tomas domiciliarias se cerraba la llave de fuga y se continuaba con las siguientes tres tomas, se comenzaba con la toma central, como la primera toma, la toma posterior como la segunda y la tercera toma era la que no fue incluida en el grupo anterior. Esto se continuaba si se tenía necesidad de avanzar con más grupos de tomas.
- Si las presiones eran medidas con celdas. Se procedía a tomar el cero de la celda, para después realizar las correcciones en la medición de las presiones. Para la conexión de las celdas, se utilizó un dispositivo de purga. Las celdas se purgaban para expulsar el aire retenido en su interior o para expulsar las posibles burbujas de aire que el flujo arrastraba y podían introducirse a la celda.

- Se tomaba la lectura de presión por medio de un amplificador de señal. Este aparato transmite la señal eléctrica producida por los movimientos mecánicos que son generados por el empuje del agua sobre la membrana de la celda, a una tarjeta de adquisición de datos. La señal fue procesada por medio de un equipo de cómputo.
- Los valores de presión eran capturados durante lapsos de tiempo que iban de 10 a 20 segundos, y se obtenía la media de la presión generada en el punto.

La abertura de la llave de nariz que representa la fuga era desde parcialmente abierta hasta completamente abierta de acuerdo al tamaño de la fuga que se quería simular (pequeña, mediana o grande).

Hay que remarcar que una prueba se trabajaba con tres tomas domiciliarias o con todas, pero siempre en grupos de tres. Esto es con la finalidad de analizar el comportamiento de la toma en la que se está simulando la fuga y para observar como son afectadas las tomas domiciliarias adyacentes a la toma con fuga.

Los valores obtenidos de las pruebas fueron vaciados en planos que representaban de una forma gráfica el comportamiento del dispositivo físico.

7.3 Pruebas

Se realizaron varias pruebas de las cuales se seleccionaron seis cada una de las cuales presenta diferentes condiciones de flujo y operación. A continuación se muestran los valores experimentales obtenidos. En las tres primeras pruebas las mediciones de presión se llevaron a cabo con manómetros de carátula (patrón) y en las tres siguientes con celdas de presión. En el capítulo 8 se lleva a cabo el análisis de estas.

7.3.1 Primera prueba

En esta prueba se puso en operación la red con una presión de entrada de 0.3 kg/cm^2 (tomada con un manómetro de carátula con glicerina), la cual fue la presión más baja utilizada en este estudio. La última llave del cuadro de cada una de las diez tomas se abrió, de manera que los gastos se aproximaran a 0.10 l/s . Esta prueba se realizó únicamente para las tres tomas 7, 8 y 9. Los datos obtenidos de presiones tomadas en la llave al final de cada cuadro y en las llaves que simulan las fugas en el ramal, así como los gastos de salida, se presentan en la tabla 7.1. Las presiones se tomaron con el manómetro patrón.

Tabla 7.1 Datos de presiones y gastos sin fuga

No. de Toma	No. de Nodos	Presión (kg/cm^2)	Gasto al final de la toma (l/s)
7	44	0.23	0.0926
	45	0.23	
	46	0.21	
	47	0.20	
	50	0.15	
8	51	0.23	0.0964
	52	0.21	
	53	0.20	
	54	0.18	
	57	0.17	
9	58	0.23	0.0841
	59	0.21	
	60	0.20	
	61	0.20	
	64	0.15	

Los datos de la tabla 7.2 corresponden a la prueba con fuga. La fuga fue provocada en la primera llave del ramal de la toma 8, donde se encuentra la conexión de la abrazadera con el tubo alimentación (Fo. Go. de 4" de diámetro).

Tabla 7.2 Datos de presiones y gastos con fuga

No. de Toma	No. de Nodos	Presión (kg/cm^2)	Gasto al final de la toma (l/s)
7	44	0.24	0.0885
	45	0.24	
	46	0.22	
	47	0.21	
	50	0.15	
8	51	Fuga	0.1370
	52	0.15	
	53	0.13	
	54	0.12	
	57	0.12	
9	58	0.20	0.0802
	59	0.20	
	60	0.19	
	61	0.17	
	64	0.15	

7.3.2 Segunda prueba

Para esta prueba la presión de entrada fue de $0.75 kg/cm^2$, es decir $7.5 mca$ (tomada con un manómetro de carátula con glicerina), la cual permitió percibir variaciones más marcadas en los cambios de presión a lo largo de la tubería. Las condiciones del dispositivo utilizadas en la primera prueba se mantuvieron, es decir, la última llave del cuadro de cada una de las diez tomas se abrió, con un gasto aproximado de $0.10 l/s$. Se realizó esta prueba únicamente para las tres tomas 7, 8 y 9. Los datos obtenidos en la prueba sin fuga se presentan en la tabla 7.3. La toma de presiones fue realizada con el manómetro patrón.

En la tabla 7.4 se encuentran los datos de la prueba con fuga. La fuga se localizó en la toma 8, en la primera llave del ramal, es decir donde se encuentra la conexión de la abrazadera con el tubo de alimentación.

Tabla 7.3 Datos de presiones y gastos sin fuga

No. de Toma	No. de Nodos	Presión (kg/cm ²)	Gasto al final de la toma (l/s)
7	44	0.68	0.1168
	45	0.67	
	46	0.64	
	47	0.64	
	50	0.38	
8	51	0.66	0.1412
	52	0.65	
	53	0.64	
	54	0.60	
	57	0.36	
9	58	0.68	0.1288
	59	0.66	
	60	0.64	
	61	0.62	
	64	0.21	

Tabla 7.4 Datos de presiones y gastos con fuga

No. de Toma	No. de Nodos	Presión (kg/cm ²)	Gasto al final de la toma (l/s)
7	44	0.68	0.1215
	45	0.64	
	46	0.62	
	47	0.60	
	50	0.26	
8	51	Fuga	0.2330
	52	0.49	0.1206
	53	0.46	
	54	0.45	
	57	0.24	
9	58	0.62	
	59	0.61	
	60	0.58	
	61	0.57	
	64	0.17	

7.3.3 Tercera prueba

La presión de entrada de esta prueba fue de 3.1 kg/cm^2 , es decir 31 mca (tomada con un manómetro de carátula con glicerina). Al igual que en los dos casos anteriores la última llave del cuadro de la diez tomas se abrió para obtener un gasto aproximado de 10 l/s. Se trabajó con las mismas tomas 6, 7 y 8. Los datos de presiones tomadas en la llave final de cada cuadro fueron únicamente para las tres tomas mencionadas, sin tomar presiones en las llaves que simulan las fugas en el ramal. Para la prueba sin fuga los valores de las presiones se presentan en la tabla 7.5, así como los gastos de salida aforados. La toma de presiones fue realizada con el manómetro de glicerina.

La tabla 7.6 muestra los valores de la prueba con fuga. La fuga se localizó en la toma 7, en la primera llave del ramal, donde se encuentra la conexión de la abrazadera con el tubo de alimentación.

Tabla 7.5 Datos de presiones y gastos sin fuga

No. de Toma	No. de Nodos	Presión (kg/cm^2)	Gasto al final de la toma (l/s)
6	50	2.79	0.1093
7	57	2.70	0.1276
8	64	2.79	0.1285

Tabla 7.6 Datos de presiones y gastos con fuga

No. de Toma	No. de Nodos	Presión (kg/cm^2)	Gasto al final de la toma (l/s)
7	50	2.79	0.1100
8	57	2.55	0.1284
9	51	Fuga	0.3304
	57	2.75	0.1294

7.3.4 Cuarta prueba

En la prueba la presión que se en la entrada fue de 0.50 kg/cm^2 (tomada con un manómetro de carátula con glicerina), al igual que en los casos anteriores la última llave del cuadro de las diez tomas se abrió con un gasto aproximado de 0.10 l/s . Nuevamente sólo se trabajó únicamente con las tomas 7, 8 y 9. Los datos obtenidos para la prueba sin fuga se presentan en la tabla 7.7. La toma de presiones fue hecha con celdas de presión.

En la tabla 7.8 se encuentran los datos del ensayo con fuga. La fuga se localiza en la toma 8, en la primera llave del ramal (ver figura 7.2). En las figuras 7.1 y 7.2 se observan los resultados ubicados en un diagrama del dispositivo físico.

Tabla 7.7 Datos de presiones y gastos sin fuga

No. de Toma	No. de Nodos	Presión (kg/cm^2)	Gasto al final de la toma (l/s)
7	44	0.554	0.1330
	45	0.525	
	46	0.500	
	47	0.479	
	50	0.198	
8	51	0.519	0.1357
	52	0.512	
	53	0.468	
	54	0.460	
	57	0.202	
9	58	0.529	0.1258
	59	0.516	
	60	0.491	
	61	0.474	
	64	0.076	

Tabla 7.8 Datos de presiones y gastos con fuga

No. de Toma	No. de Nodos	Presión (kg/cm^2)	Gasto al final de la toma (l/s)
7	44	0.518	0.1348
	45	0.501	
	46	0.476	
	47	0.455	
	50	0.167	
8	51	fuga	0.1948
	52	0.403	
	53	0.371	
	54	0.350	
	57	0.126	
9	58	0.501	0.1144
	59	0.493	
	60	0.467	
	61	0.445	
	64	0.063	

7.3.5 Quinta prueba

La presión de entrada fue de $0.50 kg/cm^2$ (tomada con un manómetro de carátula con glicerina), al igual que en los casos anteriores la última llave del cuadro de las diez tomas se abrió a excepción de las tomas 2, 3 y 4 en las cuales se realizó el ensayo. Para la prueba sin fugas (ver figura 7.3), los datos obtenidos de presiones tomadas en la llave final del cuadro se presentan en la tabla 7.9, así como los gastos de salida aforados; la toma de presiones fue hecha con celdas de presión.

En las tablas 7.10 y 7.11 se encuentran los datos de las pruebas con fugas. En esta ensayo se generaron dos fugas en la toma 3, la primera fuga se localizo en la primera llave del ramal, donde se encuentra la conexión de la abrazadera con el tubo de alimentación (ver figura 7.4). Terminada esta prueba se simulo la siguiente fuga en una de las llaves de nariz del ramal (nodo 18). En las figuras (7.4) y (7.5) se observan los resultados ubicados en un diagrama del dispositivo físico.

Tabla 7.9 Datos de presiones y gastos sin fuga

No. de Toma	No. de Nodos	Presión (kg/cm ²)	Gasto al final de la toma (l/s)
1	8	-	0.1208
2	15	3.23	-
3	22	2.91	-
4	29	2.67	-
5	36	-	0.0850
6	43	-	0.0775
7	50	-	0.0683
8	57	-	0.0633
9	64	-	0.0729
10	71	-	0.0530
Gasto total			0.5408

Tabla 7.10 Presiones y gastos con fuga en la válvula de inserción

No. de Toma	No. de Nodos	Presión (kg/cm ²)	Gasto al final de la toma (l/s)
1	8	-	0.1157
2	15	3.19	-
3	16 22	fuga 2.50	0.1428
4	29	2.55	-
5	36	-	0.0830
6	43	-	0.0757
7	50	-	0.0609
8	57	-	0.5690
9	64	-	0.0718
10	71	-	0.0515
Gasto total			0.6581

Tabla 7.11 Datos de presiones y gastos con fuga en el ramal

No. de Toma	No. de Nodos	Presión (kg/cm ²)	Gasto al final de la toma (l/s)
1	8	-	0.1120
2	15	3.18	-
3	16	-	0.1451
	18	fuga	
4	22	1.93	-
	29	2.51	
5	36	-	0.0826
6	43	-	0.0722
7	50	-	0.0576
8	57	-	0.5803
9	64	-	0.0658
10	71	-	0.0510
Gasto total			0.6442

7.3.6 Sexta prueba

En esta última prueba la presión de entrada a la red fue de 0.53 kg/cm², es decir 5.3 mca (tomada con la celda de presión). En este caso la última llave de nariz del cuadro se abrió únicamente para las tomas 1, 5, 9 y 10, mientras las otras permanecían cerradas. Esto con el fin de trabajar al mismo tiempo en dos grupos de 3 tomas domiciliarias, el primer grupo con las tomas 2, 3 y 4 y como segundo grupo las tomas 6, 7 y 8. Los datos obtenidos de la prueba sin fugas (ver figura 7.6) se presenta en la tabla 7.12.

La tabla 7.13 muestra los datos de la primera prueba con fugas. Las fugas se localizaron en las tomas 3 y 7, en la primera llave del ramal (ver figura 7.7).

En la tabla 7.14 se encuentran los valores de la segunda prueba con fugas. Como la prueba anterior las fugas se localizaron en las tomas 3 y 7, con la diferencia de que en la toma 3 la fuga se simuló en la primera llave del ramal, mientras que en la toma 7 se simuló una fuga en el ramal (ver figura 7.8).

La tabla 7.15 muestra los valores del tercer ensayo con fugas. Las fugas se localizaron en las tomas 3 y 7. En la toma 3 se simuló una fuga en el ramal y en la toma 7 se simuló una fuga en la primera llave del ramal, que es lo contrario del caso anterior (ver figura 7.9).

Finalmente en la tabla 7.16 se observan los datos de la cuarta prueba con fugas. Las fugas también se localizaron en las tomas 3 y 7. Cada fuga se simuló en el ramal de las tomas 3 y 7 (ver figura 7.10).

Tabla 7.12 Datos de presiones y gastos sin fuga

No. de Toma	No. de Nodos	Presión (kg/cm ²)	Gasto al final de la toma (l/s)
1	8	-	0.1211
2	15	3.6	-
3	22	3.21	-
4	29	2.98	-
5	36	-	0.0899
6	43	2.63	-
7	50	1.82	-
8	57	1.56	-
9	64	-	0.0810
10	71	-	0.0712
Gasto total			0.3632

Tabla 7.13 Datos de presiones y gastos con fuga

No. de Toma	No. de Nodos	Presión (kg/cm ²)	Gasto al final de la toma (l/s)
1	8	-	0.1159
2	15	3.15	-
3	16	fuga	0.1447
	22	2.51	
4	29	2.62	-
5	36	-	0.0799
6	43	1.73	-
7	44	fuga	0.1390
	50	1.16	
8	57	1.28	-
9	64	-	0.0749
10	71	-	0.0641
Gasto total			0.6185

Tabla 7.14 Datos de presiones y gastos con fuga

No. de Toma	No. de Nodos	Presión (kg/cm ²)	Gasto al final de la toma (l/s)
1	8	-	0.1127
2	15	3.01	-
3	16	fuga	0.1392
	22	2.48	
4	29	2.59	-
5	36	-	0.0769
6	43	1.67	-
7	46	fuga	0.1400
	50	0.80	
8	57	1.52	-
9	64	-	0.0721
10	71	-	0.0622
Gasto total			0.6031

Tabla 7.15 Datos de presiones y gastos con fuga

No. de Toma	No. de Nodos	Presión (kg/cm ²)	Gasto al final de la toma (l/s)
1	8	-	0.1139
2	15	3.17	-
3	18	fuga	0.1531
	22	2.03	-
4	29	2.56	-
5	36	-	0.0792
6	43	1.69	-
7	44	fuga	0.1363
	50	1.20	-
8	57	1.17	-
9	64	-	0.0735
10	71	-	0.0627
Gasto total			0.6187

Tabla 7.16 Datos de presiones y gastos con fuga

No. de Toma	No. de Nodos	Presión (kg/cm ²)	Gasto al final de la toma (l/s)
1	8	-	0.1123
2	15	3.12	-
3	18	Fuga	0.1549
	22	1.98	-
4	29	2.64	-
5	36	-	0.0788
6	43	1.65	-
7	46	Fuga	0.1425
	50	0.83	-
8	57	1.26	-
9	64	-	0.0715
10	71	-	0.0615
Gasto total			0.6215

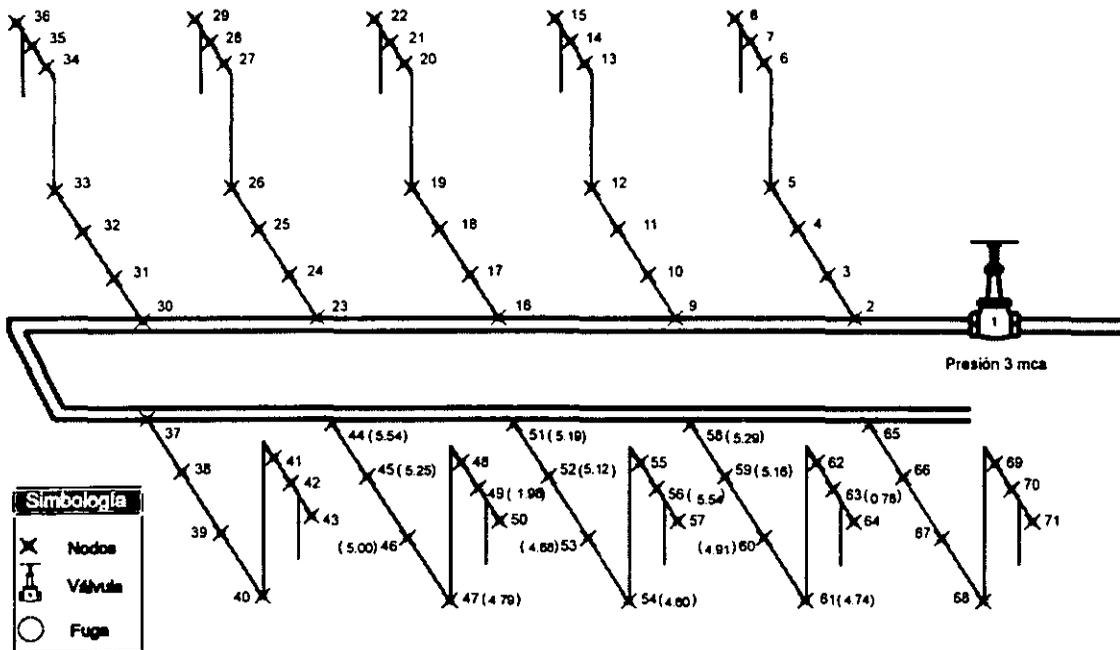


Figura 7.4 Datos de presiones de la prueba 4 en mca, sin fuga.

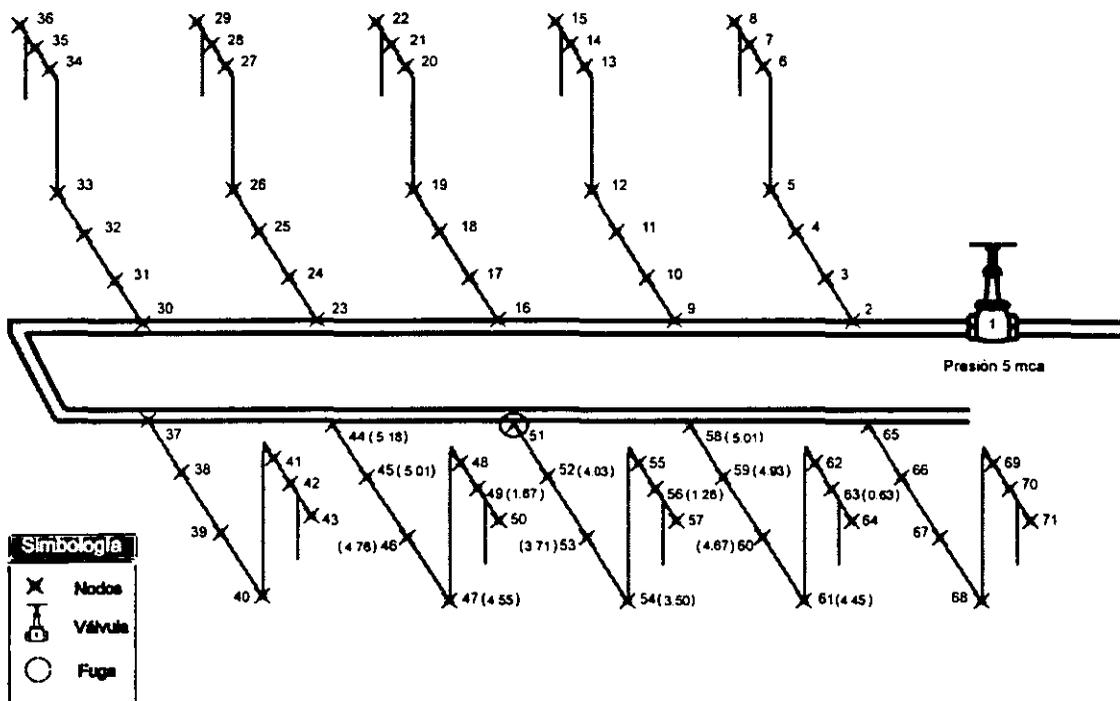


Figura 7.5 Datos de presiones de la prueba 4 en mca, con fuga.

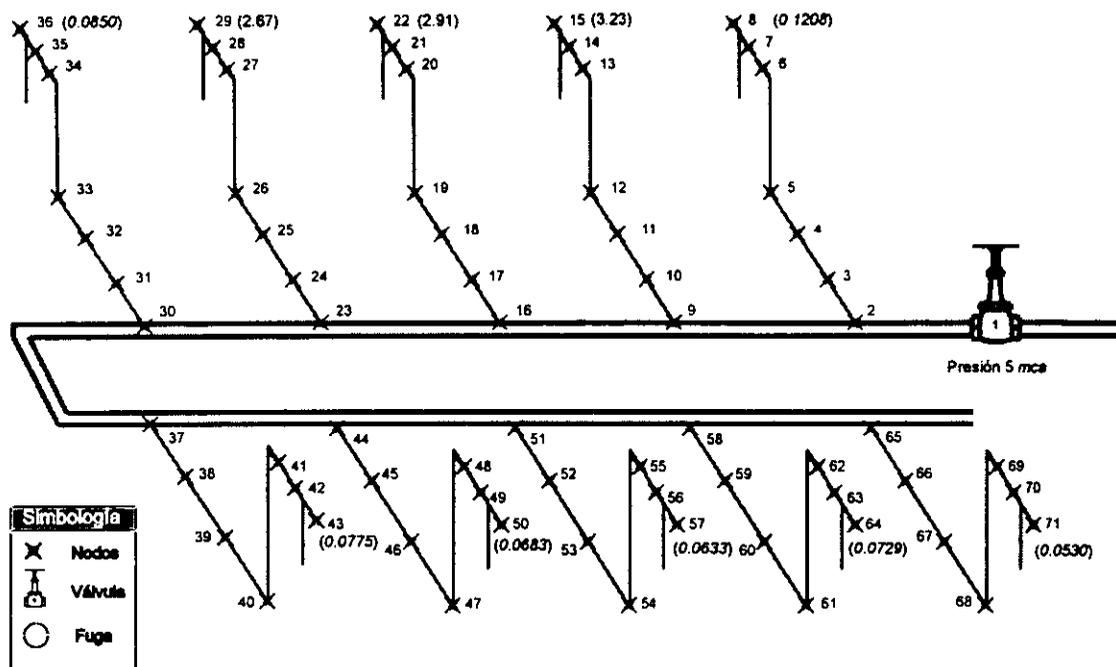


Figura 7.6 Datos de presiones y gastos de la prueba 5 en *mca*, sin fuga

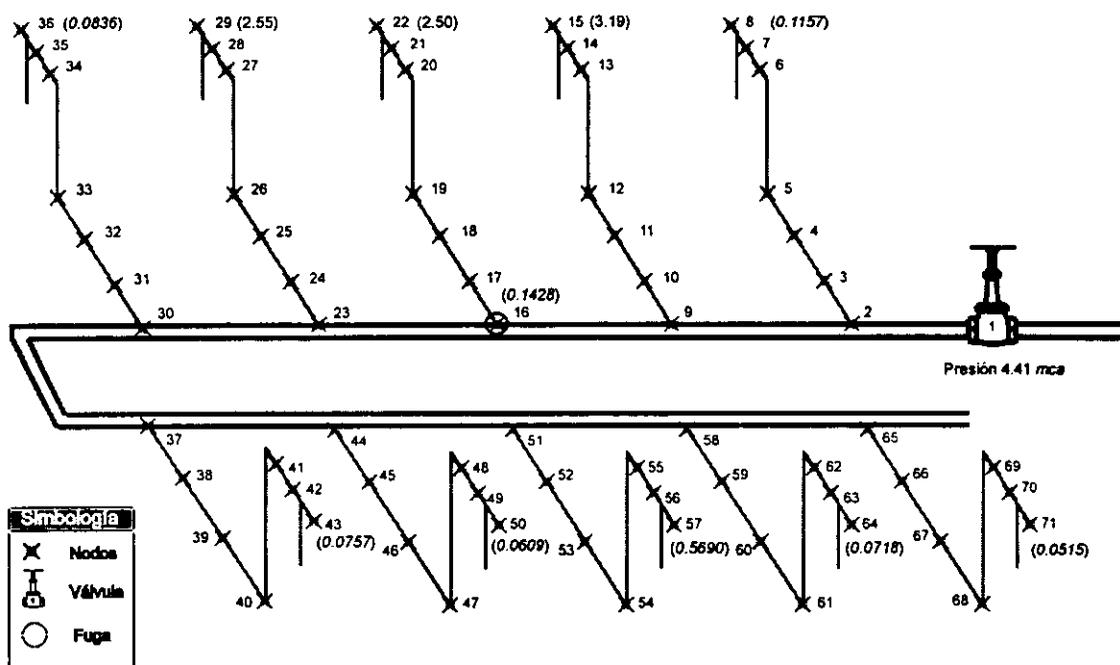


Figura 7.7 Datos de presiones y gastos de la prueba 5 en *mca*, con fuga

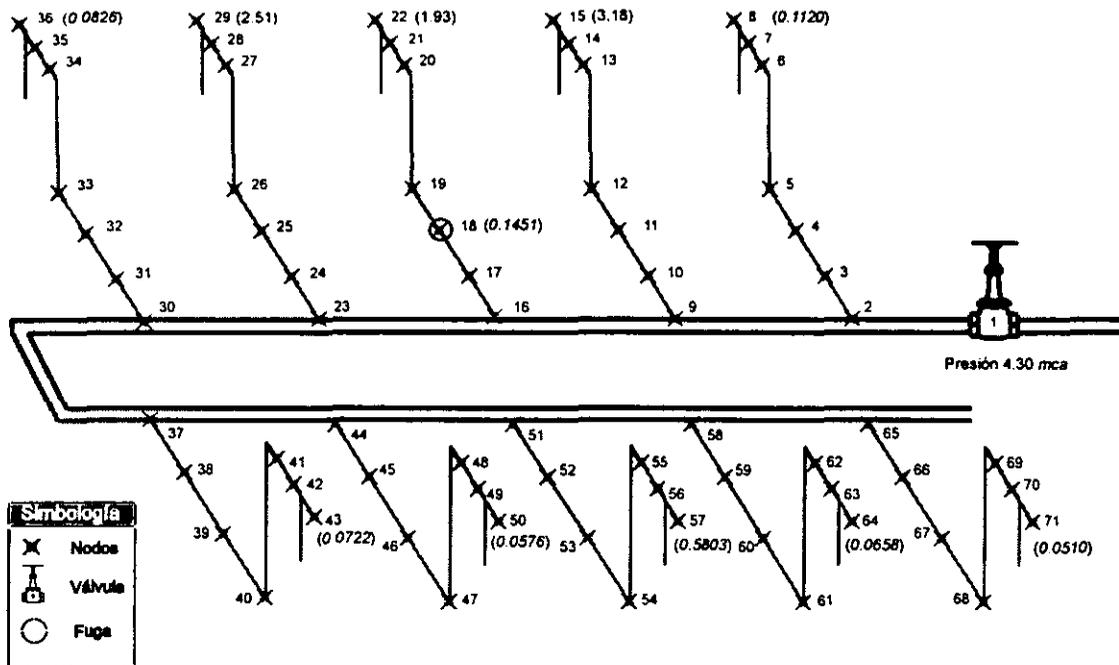


Figura 7.8 Datos de presiones y gastos de la prueba 5 en mca, con fuga

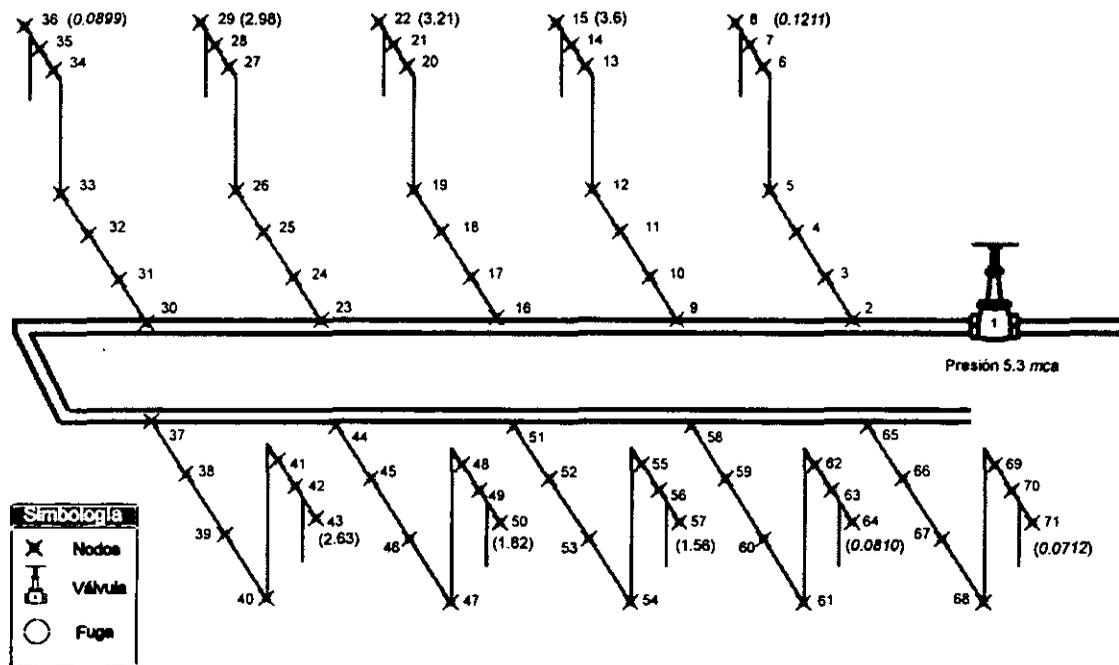


Figura 7.9 Datos de presiones y gastos de la prueba 6 en mca, sin fuga

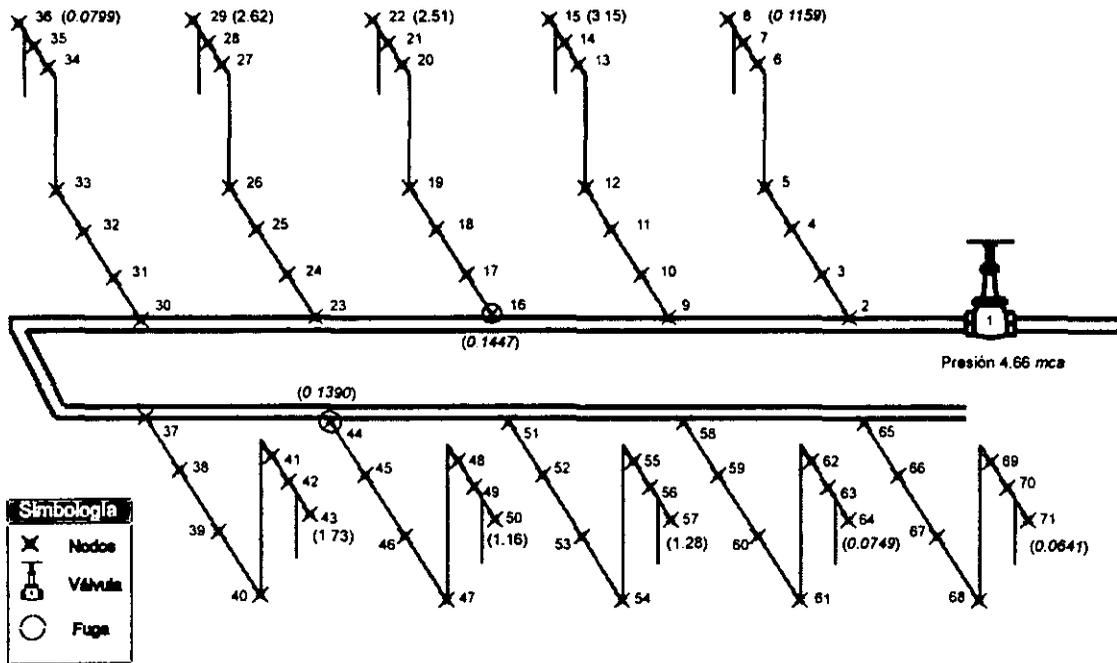


Figura 7.10 Datos de presiones y gastos de la prueba 6 en mca, con fuga en las válvulas de inserción de las tomas 3 y 7

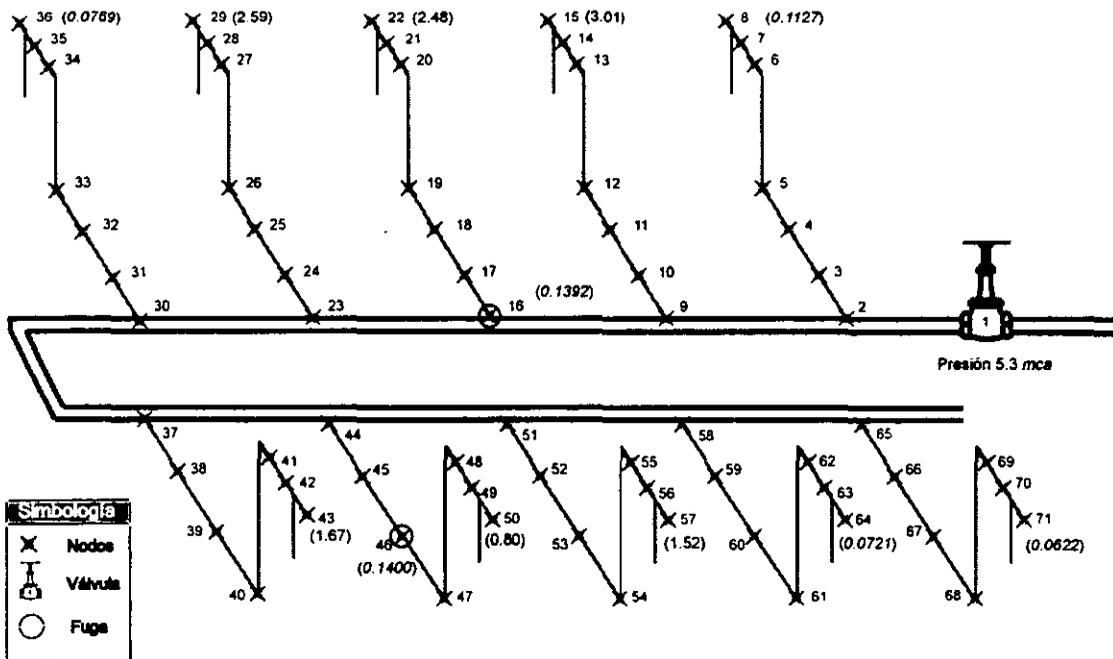


Figura 7.11 Datos de presiones y gastos de la prueba 6 en mca, con fugas en la válvula de inserción y en el ramal de las tomas 3 y 7

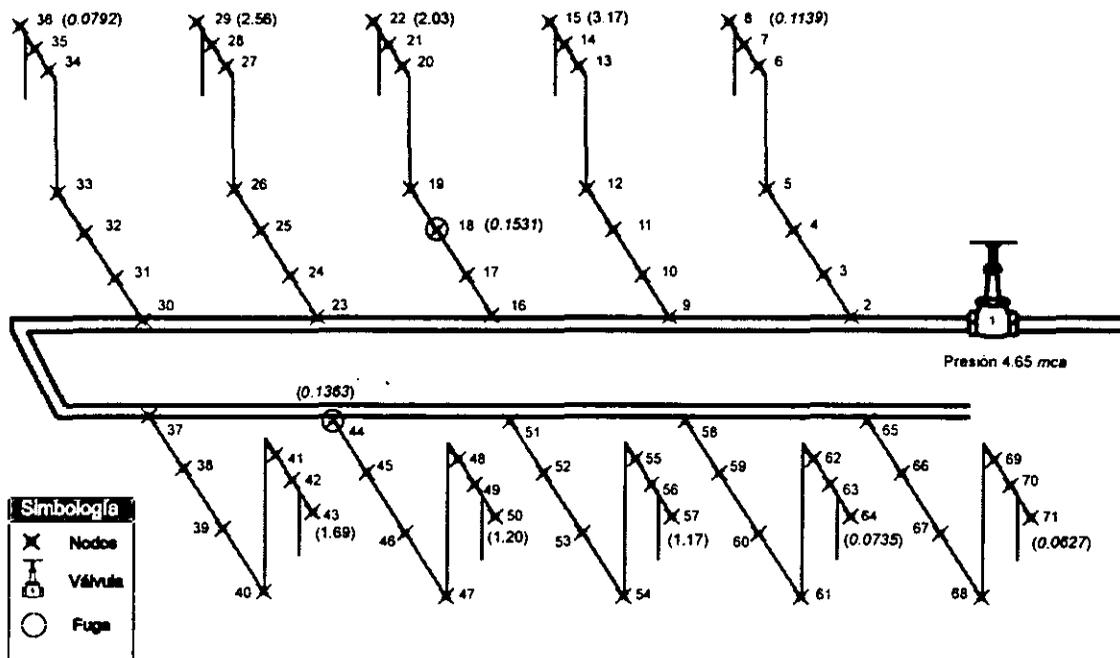


Figura 7.12 Datos de presiones y gastos de la prueba 6 en mca, con fugas en el ramal y la válvula de inserción de las tomas 3 y 7.

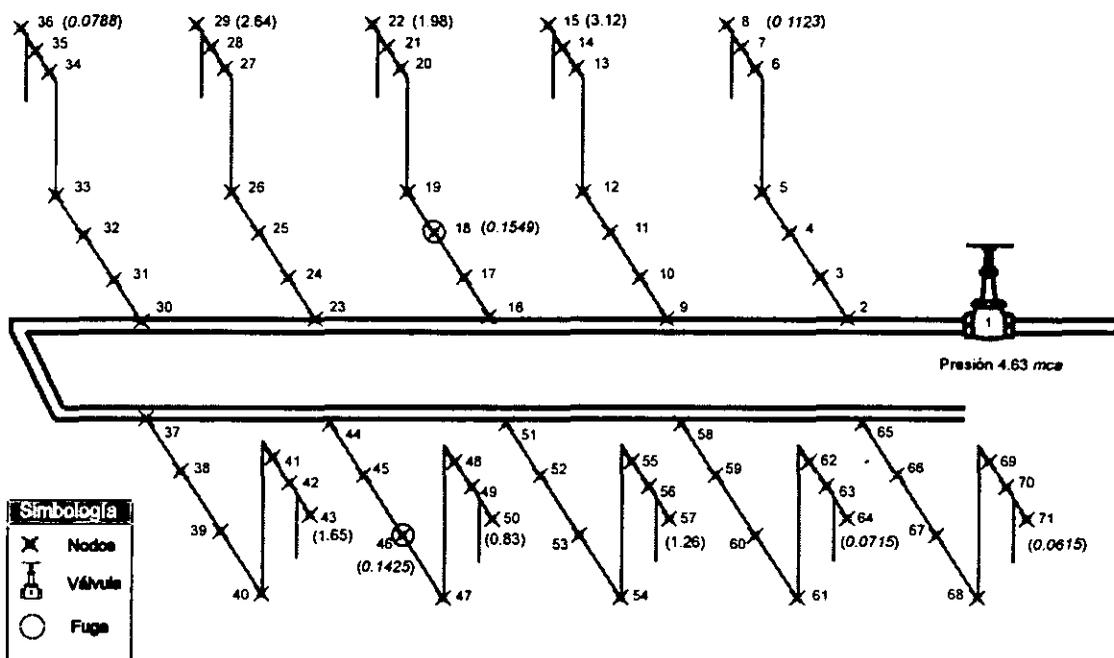


Figura 7.13 Datos de presiones y gastos de la prueba 6 en mca, con fugas en los ramales de las tomas 3 y 7.

8. APLICACIÓN DEL MÉTODO PARA DETECTAR FUGAS EN TOMAS DOMICILIARIAS

8.1 Aplicación y resultados del método para detectar fugas

El método de detección de fugas en tomas domiciliarias se aplicó a todas las pruebas que se realizaron en el modelo físico escogiéndose seis pruebas representativas para mostrar sus resultados, estas fueron descritas anteriormente en el subcapítulo 7.3.

En el diseño del dispositivo físico se decidió colocar 10 tomas domiciliarias separadas 10 *m* de longitud una de otra, representando una situación ideal, por lo tanto las longitudes x_i y x_{i+1} tienen este valor.

En las tablas 8.4 a la 8.6, la primera columna indica las características de la prueba, es decir, si hubo fuga o no, y si la hubo donde se localizaba esta. La segunda columna

señala la presión de entrada del dispositivo físico. La tercera indica el grupo de tomas donde se aplicó la prueba. De la cuarta a la sexta columna se proporcionan los valores experimentales de p_{i-1} , p_i y p_{i+1} . En la séptima columna se encuentran los valores de p_p obtenidos de la ecuación

$$p_p = \left[\frac{x_i}{x_i + x_{i+1}} \right] p_{i+1} + \left[\frac{x_{i+1}}{x_i + x_{i+1}} \right] p_{i-1}$$

En la octava se presenta la razón de la presión ponderada, p_p , con respecto a la presión de prueba, p_i , es decir p_p / p_i .

Finalmente la novena columna corresponde a una comparación entre p_p / p_i y al factor de fuga F , por lo tanto

$$p_p / p_i \geq F$$

En la tabla 8.1 se observa que en el ensayo sin fuga el promedio ponderado p_p difiere mucho del valor p_i , por lo tanto en este caso no se está cumpliendo la consideración de una variación lineal de la pérdida de carga debida a la fricción de la tubería. Sin embargo en el ensayo con fuga el valor de p_p / p_i es mayor que el factor de fuga F . Por lo tanto este caso cumple con el requisito para detectar la fuga.

Tabla 8.1 Método aplicado a la primera prueba

Características de la prueba	Presión de entrada mca	Tomas	p_{i-1} mca	p_i mca	p_{i+1} mca	p_p mca	p_p / p_i	F
Sin fuga	3	7,8,9	1.5	1.7	1.5	1.5	-	-
fuga en la abrazadera	-	7,8,9	1.5	1.2	1.5	1.5	1.25	≥ 1.15

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

En la tabla 8.2 no se cumple con la variación lineal de la pérdida de carga, en el ensayo sin fuga y el valor de p_p / p_i es menor que el factor de fuga F , por lo tanto no se cumple el requisito para detectar la fuga.

Tabla 8.2 Método aplicado a la segunda prueba

Características de la prueba	Pérdida en el ensayo p_i	p_1	p_2	p_3	p_4	p_p	$F = p_p / p_i$	Factor F
Sin fuga	7.5	7,8,9	3.8	3.6	2.1	2.95	-	-
fuga en la abrazadera	-	7,8,9	2.6	2.4	1.7	2.15	0.9	≤ 1.15

En la tabla 8.3 el valor del promedio ponderado p_p es muy cercano al valor de p_i , esto indica que se considera una variación lineal de la pérdida de carga. Mientras que el valor de p_p / p_i es menor que el factor de fuga F , aunque muy cercano a este.

Tabla 8.3 Método aplicado a la tercera prueba

Características de la prueba	Pérdida en el ensayo p_i	p_1	p_2	p_3	p_4	p_p	$F = p_p / p_i$	Factor F
Sin fuga	30.1	6,7,8	27.5	27	27.9	27.7	-	-
fuga en la abrazadera	-	6,7,8	27.9	25.5	27.5	27.7	1.09	≤ 1.15

En la tabla 8.4 el valor del promedio ponderado p_p es muy diferente al valor de p_i por lo tanto no se cumple con la variación lineal de la pérdida de carga. Mientras que el valor de p_p / p_i es mucho menor que el factor de fuga F , no cumpliéndose las condiciones para detectar la fuga.

Tabla 8.4 Método aplicado a la cuarta prueba

Características de la prueba	Presión de entrada p_i med	Tomas	p_i med	p_i med	p_p med	p_p med	p_p/p_i	Factor F
Sin fuga	5	7,8,9	1.98	2.02	0.76	1.37	-	-
fuga en la abrazadera	-	7,8,9	1.67	1.26	0.63	1.15	0.70	≤ 1.15

La tabla 8.5 muestra que el valor del promedio ponderado p_p es muy similar al valor de p_i , considerando este resultado como indicativo de que hay una variación lineal de perdida de carga. Mientras que el valor de p_p / p_i para los dos tipos de fugas es mayor que el factor de fuga F , cumpliéndose las condiciones para la detección de la fuga.

Tabla 8.5 Método aplicado a la quinta prueba

Características de la prueba	Presión de entrada p_i med	Tomas	p_i med	p_i med	p_p med	p_p med	p_p/p_i	Factor F
Sin fuga	5	2,3,4	3.23	2.91	2.67	2.95	-	-
Fuga en la abrazadera	4.41	2,3,4	3.19	2.50	2.55	2.87	1.15	≥ 1.15
Fuga en el ramal	4.30	2,3,4	3.18	1.93	2.51	2.85	1.48	≥ 1.15

En la tabla 8.6 se muestra que el valor del promedio ponderado p_p es muy similar al valor de p_i para las dos grupos de tomas domiciliarias sin fuga. Mientras que el valor de p_p / p_i para todos los casos con fugas es mayor que el factor de fuga F , cumpliéndose las condiciones de detección de la fuga.

Tabla 8.6 Método aplicado a la sexta prueba

Características de la prueba	Presión de abrazadera (mmHg)	Tomas	P_1 (mmHg)	P_2 (mmHg)	P_3 (mmHg)	$\frac{P_1}{P_2}$ (mmHg)	$\frac{P_1}{P_3}$ (mmHg)	Factor F
Sin fuga	5.3	2,3,4	3.60	3.21	2.98	3.29	-	-
Sin fuga	5.3	6,7,8	2.63	1.82	1.56	2.09	-	-
Fuga en la abrazadera	4.66	2,3,4	3.15	2.51	2.62	2.89	1.15	≥ 1.15
Fuga en la abrazadera	4.66	6,7,8	1.73	1.16	1.28	1.50	1.30	≥ 1.15
Fuga en la abrazadera	4.72	2,3,4	3.01	2.48	2.59	2.80	1.13	≤ 1.15
Fuga en el ramal	4.72	6,7,8	1.67	0.80	1.52	1.60	1.99	≥ 1.15
Fuga en el ramal	4.65	2,3,4	3.17	2.03	2.56	2.87	1.41	≥ 1.15
Fuga en la abrazadera	4.65	6,7,8	1.69	1.20	1.17	1.43	1.19	≥ 1.15
Fuga en el ramal	4.63	2,3,4	3.12	1.98	2.64	2.88	1.45	≥ 1.15
Fuga en el ramal	4.63	6,7,8	1.65	0.83	1.26	1.46	1.75	≥ 1.15

8.2 Análisis de los resultados del método para detectar fugas en tomas domiciliarias

Los resultados obtenidos después de aplicar el método de detección de fugas en tomas domiciliarias se observan en la octava columna de las tablas 8.1 a la 8.5.

De las cuatro primeras pruebas se observa que solo en la primera prueba la aplicación del método da resultados positivos(se consideraría la existencia de una fuga) mientras que en la segunda y la cuarta prueba los resultados son negativos (no se consideraría el caso de fuga) y en la tercera prueba los resultados indican una posible fuga (habría una incertidumbre).

En estas cuatro pruebas el grupo de tres tomas domiciliarias ensayadas presentaba un flujo de agua y las tomas de presiones se hacían en una llave de nariz que se encuentra al lado de la llave final del cuadro.

Esta incertidumbre en la detección de la fuga al aplicar el método se debe principalmente a que el flujo que pasaba en la última llave de nariz del cuadro era calculado de acuerdo a cierta abertura, por lo que aproximadamente se suponía que pasaban 0.10 l/s. Esto hacía que cada llave tuviera una variación en gasto (como se puede observar en la descripción de las pruebas) y por lo tanto de presiones, lo cual agregaba una incertidumbre al aplicar el método. Esta incertidumbre puede conducir a resultados erróneos y ocasionar que no se detecte la fuga en donde hay fuga o que se crea que existe una fuga en donde no hay fuga.

De lo anteriormente dicho es evidente que esto provoca que en las pruebas sin fuga no se presente una variación lineal de la pérdida de carga como queda demostrado en los resultados dados en las tablas 8.1 a la 8.4, por lo tanto el grupo de tomas no estaban actuando como piezómetros.

Por lo tanto uno de los requisitos fundamentales que el método debe cumplir es que no presente flujo de agua en el grupo de tomas donde se hace el ensayo, por que esto disminuiría las probabilidades de detección de la fuga.

En cuanto a las pruebas quinta y sexta se observa en las tablas 8.1 y 8.6, que el método da buenos resultados (se tendría seguridad de que existe una fuga en el lugar). En estas dos pruebas se cumplió el requisito de mantener cerrada la última llave del cuadro de cada toma del grupo de tres, es decir en esta llave se tomaba la presión.

En la quinta prueba la fuga que se presenta en la abrazadera y en el ramal fueron independientes, es decir primero se realizó la fuga en la abrazadera para después hacerla en el ramal.

Para la sexta prueba las fugas se representaron en dos grupos de tomas simultaneas, para cada grupo la fuga se representaba en la abrazadera o en el ramal, como puede observarse en la tabla 8.6.

Se puede observar que para estas dos pruebas se presenta una variación lineal de pérdida de carga(en las ensayos sin fuga), lo que nos indica que las tomas domiciliarias están funcionando como tubos piezométricos, de acuerdo a lo propuesto en los fundamentos del método, subcapitulo 6.1.

La mayoría de las pruebas se realizaron dentro del rango de presiones que van de 0.3 hasta 4 kg/cm^2 .

La fuga que se representaba en el grupo de tres tomas, se detectaba siempre y cuando el gasto de fuga fuera de una magnitud considerable y se cumpliera la condición de no haber flujo en las tres tomas donde se realizaba la prueba.

Se observa en las tablas 7.10, 7.11 y 7.14 hasta 7.16 (pruebas quinta y sexta) que el valor de gasto de las fugas es mucho mayor que los gastos de salida de cualquier toma domiciliaria abierta en el mismo instante, esto se debe al cierre de las llaves de nariz debido a la aplicación del método, además de que agua ya no tenga que perder energía a través de la toma domiciliaria, por lo tanto el gasto se incrementa en la fuga.

Es de señalar que las otras pruebas que no se describieron en este trabajo, pero en las cuales se les aplico el método presentan el mismo comportamiento que las seis descritas en este subcapitulo.

9. APLICACIÓN EN CAMPO DEL MÉTODO PARA DETECTAR FUGAS

9.1 Procedimiento para la aplicación en campo del método

Para aplicar el método en campo se llevó a cabo un estudio de varias zonas donde se presentan una mayor incidencia de fugas, para esto se tuvo que consultar la base de datos de La Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica sobre fugas en tomas domiciliarias reportadas por los usuarios. Se obtuvieron los reportes correspondientes al período comprendido entre 1995 y julio de 1998. Con estos datos se realizó la cuantificación del número de fugas por colonias, ubicadas dentro de la delegación Coyoacán. En las tablas 9.1 a la 9.4 se observan los resultados.

Después de encontrar las colonias adecuadas se procedió a una inspección visual de las calles que podrían ser seleccionadas, estas debían de cumplir ciertas características. Como las de tener una presión superior en la red secundaria arriba de 1 *mca*, no estar dentro del

régimen de tandeos, poseer cajas de visita y válvulas de seccionamiento (con el fin aislar la calle y conocer los gastos de ingreso a la zona con un aforador), las tomas domiciliarias debían de estar por fuera de los domicilios (esto con el fin de evitar molestias a los usuarios, ya que las mediciones de gastos y presiones se llevarían a cabo por varios días), los medidores intradomiciliarios debían de estar en buen estado.

Tabla 9.1 Fugas en tomas domiciliarias en 1995

Orden	Del	Al	Del	Al
1	Culhuacán, c.t.m.	295	13	Pedregal de carrasco
2	Pedregal de Santo Domingo	106	14	Pedregal de Santa Ursula Coapa
3	Ajusco	61	15	Carmen
4	Paseos de Taxqueña	48	16	Educación
5	San Francisco Culhuacán	47	17	Presidentes Ejidales
6	Prados de Coyoacán	42	18	Reyes Pueblo
7	Campetre Churubusco	39	19	Girasoles
8	Alianza Popular Revolucionaria	30	20	Candelaria Ampliación
9	Santa Ursula Coapa	28	21	Del Carmen
10	Jardines del Pedregal de San Angel	24	22	Insurgentes Cuicuilco
11	Cipreses	22	23	Avante
12	Sauces	22		

Tabla 9.2 Fugas en tomas domiciliarias en 1996

Orden	Del	Al	Del	Al
1	Culhuacán	346	18	Parque San Andrés
2	Pedregal de Santo Domingo	90	19	Romero de Terreros Manuel
3	San Francisco Culhuacán	62	20	Presidentes Ejidales
4	Paseos de Taxqueña	60	21	Villa Quietud
5	Campetre Churubusco	58	22	Unidad Habitacional Olimpica
6	Los Ciruelos	38	23	Santa Ursula Coapa
7	Prado Churubusco	37	24	Hacienda de Coyoacán
8	Los girasoles	35	25	Insurgentes Cuicuilco
9	El Carmen	34	26	Ciudad Jardín
10	Pedregal de Santa Ursula	32	27	Prados de Coyoacán
11	Pedregal de Carrasco	31	28	Pueblo los Reyes
12	Ajusco	30	29	El Rosedal
13	Educación	28	30	Adolfo Ruíz Cortines
14	Avante	25	31	Niño Jesús
15	Espartaco	25	32	San Diego Churubusco
16	Jardines del Pedregal de San Angel	24	33	Los Sauces
17	Alianza Popular Revolucionaria	23	34	Villa Panamericana

Tabla 9.3 Fugas en tomas domiciliarias en 1997

Lugar	Delegación	Fugas	Tomas	Lugar	Tomas
1	Culhuacán	293	17	Insurgentes Cuicuilco	17
2	Pedregal de Santo Domingo	155	18	Copilco Universidad	16
3	Pedregal de Santa Ursula	77	19	Los sauces	16
4	Ajusco	55	20	Bosques de Tetlameya	15
5	Alianza Popular Revolucionaria	45	21	Los Girasoles	15
6	Jardines del Pedregal de San Angel	43	22	Espartaco	14
7	Campestre Churubusco	41	23	Cafetales Residencial	13
8	El Carmen	41	24	Copilco el Alto	13
9	San Francisco Culhuacán	41	25	Parque San Andrés	13
10	Paseos de Taxqueña	37	26	Presidentes Ejidales	13
11	Prado Churubusco	36	27	El Rosedal	13
12	Avante	24	28	Santa Cecilia	13
13	Los Reyes	24	29	Candelaria	12
14	Romero de Terreros Manuel	24	30	Caracol	12
15	Pedregal de Carrasco	23	31	Niño Jesús	12
16	Educación	19	32	Santa Ursula Coapa	11

Tabla 9.4 Fugas en tomas domiciliarias hasta julio de 1998

Lugar	Delegación	Fugas	Tomas	Lugar	Tomas
1	Culhuacán	183	11	Los Ciruelos	12
2	Pedregal de Santa Ursula	37	12	Los Girasoles	12
3	Pedregal de Santo Domingo	33	13	Santa Ursula Coapa	12
4	Ajusco	26	14	Pedregal de Carrasco	10
5	Alianza Popular Revolucionaria	26	15	Los Reyes	10
6	Avante	26	16	Adolfo Ruíz Cortines	10
7	Campestre Churubusco	23	17	Villa Quietud	10
8	El Carmen	20	18	Presidentes Ejidales	9
9	Paseos de Taxqueña	19	19	Los Sauces	8
10	San Francisco Culhuacán	16			

Se localizaron varios lugares, uno de ellos fue la zona ubicada en la Calle Rancho las Animas entre Rancho Agüitas y Rancho los Amoles de la Colonia Los Sauces perteneciente a la delegación Coyoacán, la cual cumplía con todos los requisitos arriba mencionados. En esta calle se tenían 16 casas unifamiliares de nivel socio económico medio alto, con una toma domiciliaria por casa. La red secundaria era de asbesto cemento con un diámetro de 4" y su longitud de 89.4 m. Ver figuras 9.1 y 9.2.

Al ser seleccionada la calle se procedió con equipo electrónico de detección de fugas directas a revisar la red secundaria y las tomas domiciliarias, se encontró que existían dos fugas no visibles, una en la red secundaria y la otra en una de las tomas domiciliarias.

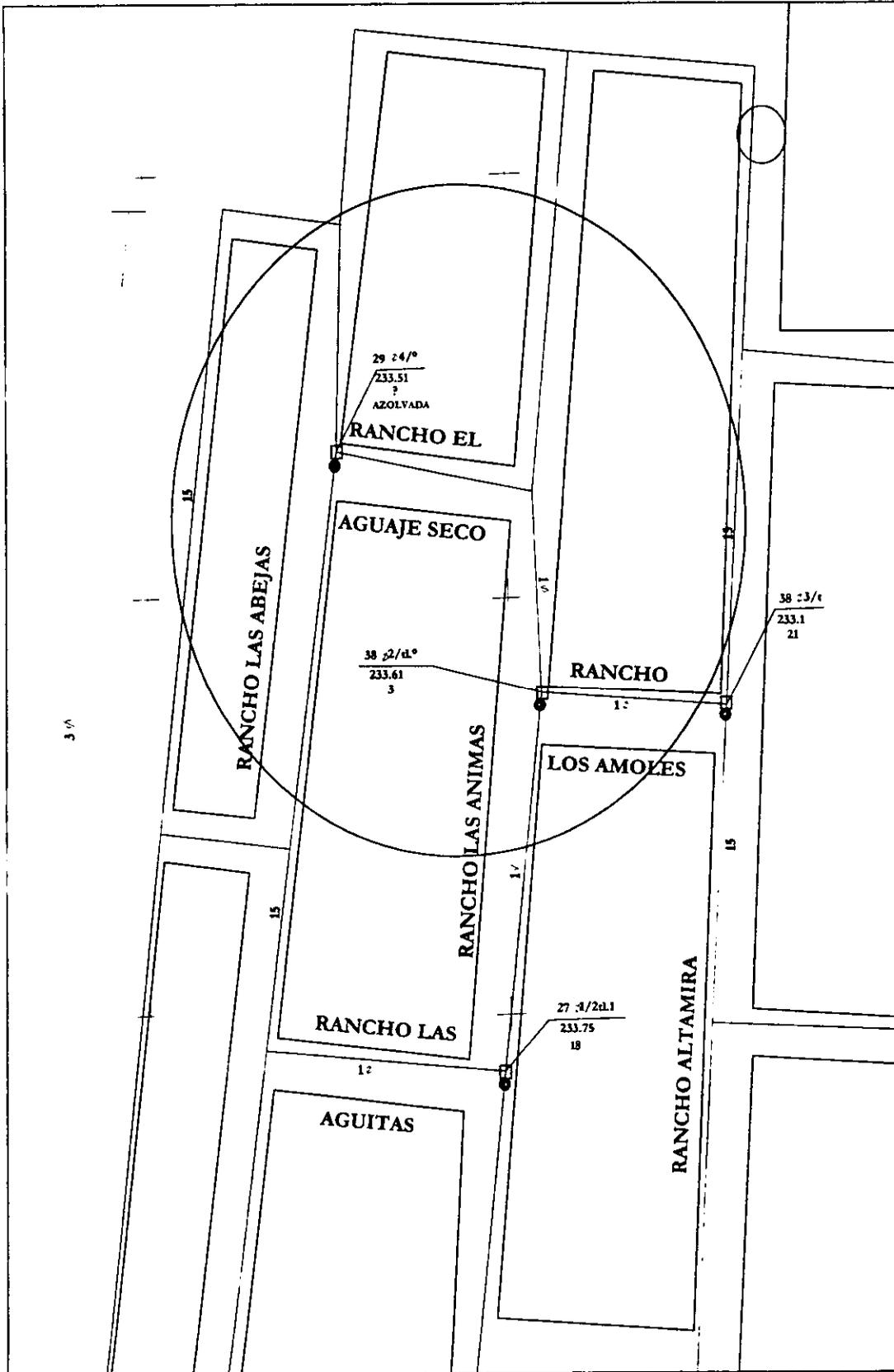
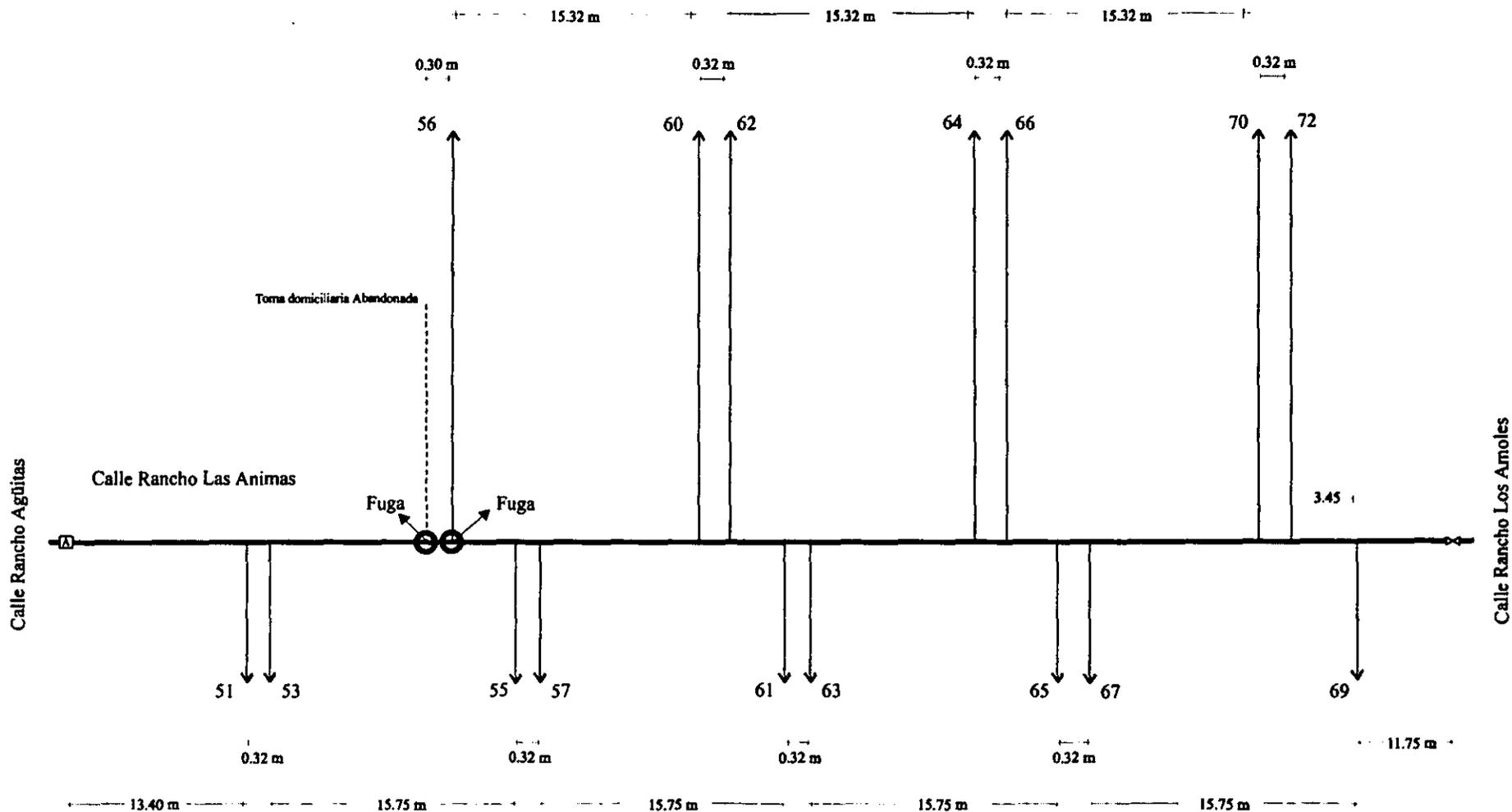


Figura 9.1 Infraestructura de agua potable en la Colonia los Sauces



- Simbología**
- 51 Toma domiciliaria
 - ⊠ Aforador
 - ⊗ Válvula de seccionamiento
 - Red secundaria
 - 13.40 m Acotaciones en metros

Figura 9.2 Croquis de tomas domiciliarias localizadas en la calle Rancho Las Animas

Se instaló el equipo de aforo a la entrada de la tubería en la calle Rancho las Agüitas y se cerro la válvula de seccionamiento encontrada al final de la calle Rancho los Amoles, para aislar el tramo.

En la primera etapa del estudio se realizaron mediciones de presiones y gastos, en la entrada de la red y en las tomas domiciliarias, por un período de siete días. Las presiones en tomas domiciliarias fueron medidas con manómetros Bourdon de 0-2 kg/cm^2 , los gastos puntuales en las tomas domiciliarias con probetas y reloj y los consumos con los medidores intradomiciliarios. Mientras que en la tubería de 4" se llevaba a cabo el aforo con un tubo pitot con registrador integrado que obtuvo presiones y gastos de ingreso a la zona.

Como ejemplo se muestran en las tablas 9.6, 9.7 y 9.8 las presiones y los gastos medidos en las casas No. 51, 56 y 70. En las figuras 9.3, 9.4, 9.5 y 9.6 se tienen el comportamiento de los gastos consumos y de las presiones de las casas anteriores. La tabla 9.5 muestra un promedio de presiones y gastos para todas las tomas domiciliarias de las casas.

Tabla 9.5 Promedio de presiones y gastos de consumo

Num. de casa	Presión	Gasto	Num. de casa	Presión	Gasto
51	1.00	0.0074	63	1.00	0.0014
53	1.01	0.0073	64	1.00	0.0086
56	0.42	0.0151	66	1.00	0.0159
55	1.01	0.0204	65	1.00	0.0088
57	1.00	0.0257	67	1.00	0.0063
60	0.99	0.0063	70	1.01	0.0032
62	1.00	0.0000	69	0.99	0.0118
61	1.00	0.0128	72	1.00	0.0202

Tabla 9.6 Presiones, volúmenes y gastos medidos en la casa No. 51

Fecha	Presión kg/cm ²	Registro	Gasto M ³	Fecha	Presión kg/cm ²	Registro	Gasto M ³	Fecha	Presión kg/cm ²	Registro	Gasto M ³
26-8-98 9:00	0.81	2600.764		29-8-98 0:00	1.23	2602.344	0.00756	31-8-98 15:00	0.82	2603.961	0.00031
26-8-98 10:00	0.78	2600.784	0.00551	29-8-98 1:00	1.33	2602.371	0.00756	31-8-98 16:00	0.81	2604.000	0.01092
26-8-98 11:00	0.75	2600.804	0.00551	29-8-98 2:00	1.42	2602.398	0.00756	31-8-98 17:00	0.81	2604.043	0.01173
26-8-98 12:00	0.74	2600.826	0.00632	29-8-98 3:00	1.52	2602.425	0.00756	31-8-98 18:00	0.82	2604.077	0.00947
26-8-98 13:00	0.74	2600.850	0.00665	29-8-98 4:00	1.47	2602.453	0.00756	31-8-98 19:00	0.88	2604.108	0.00870
26-8-98 14:00	0.75	2600.916	0.01808	29-8-98 5:00	1.41	2602.480	0.00756	31-8-98 20:00	0.93	2604.136	0.00789
26-8-98 15:00	0.75	2600.975	0.01653	29-8-98 6:00	1.35	2602.507	0.00756	31-8-98 21:00	0.99	2604.165	0.00786
26-8-98 16:00	0.74	2600.978	0.00078	29-8-98 7:00	1.28	2602.534	0.00756	31-8-98 22:00	1.05	2604.193	0.00786
26-8-98 17:00	0.74	2600.989	0.00301	29-8-98 8:00	1.22	2602.561	0.00756	31-8-98 23:00	1.10	2604.221	0.00786
26-8-98 18:00	0.75	2601.000	0.00323	29-8-98 9:00	0.94	2602.571	0.00265	1-9-98 0:00	1.16	2604.250	0.00786
26-8-98 19:00	0.79	2601.007	0.00187	29-8-98 10:00	0.80	2602.589	0.00510	1-9-98 1:00	1.21	2604.278	0.00786
26-8-98 20:00	0.79	2601.031	0.00667	29-8-98 11:00	0.78	2602.623	0.00931	1-9-98 2:00	1.27	2604.306	0.00786
26-8-98 21:00	0.86	2601.055	0.00667	29-8-98 12:00	0.75	2602.647	0.00676	1-9-98 3:00	1.33	2604.334	0.00786
26-8-98 22:00	0.92	2601.079	0.00667	29-8-98 13:00	0.74	2602.668	0.00577	1-9-98 4:00	1.38	2604.363	0.00786
26-8-98 23:00	0.99	2601.103	0.00667	29-8-98 14:00	0.74	2602.683	0.00425	1-9-98 5:00	1.45	2604.391	0.00798
27-8-98 0:00	1.05	2601.127	0.00667	29-8-98 15:00	0.76	2602.704	0.00576	1-9-98 6:00	1.24	2604.407	0.00424
27-8-98 1:00	1.12	2601.151	0.00667	29-8-98 16:00	0.78	2602.738	0.00944	1-9-98 7:00	1.04	2604.422	0.00424
27-8-98 2:00	1.18	2601.175	0.00667	29-8-98 17:00	0.81	2602.772	0.00944	1-9-98 8:00	1.00	2604.432	0.00277
27-8-98 3:00	1.20	2601.199	0.00667	29-8-98 18:00	0.82	2602.803	0.00861	1-9-98 9:00	0.92	2604.485	0.01473
27-8-98 4:00	1.14	2601.223	0.00667	29-8-98 19:00	0.83	2602.831	0.00778	1-9-98 10:00	0.82	2604.487	0.00051
27-8-98 5:00	1.08	2601.247	0.00667	29-8-98 20:00	0.86	2602.859	0.00765	1-9-98 11:00	0.80	2604.522	0.00983
27-8-98 6:00	1.02	2601.271	0.00667	29-8-98 21:00	0.95	2602.886	0.00765	1-9-98 12:00	0.79	2604.545	0.00635
27-8-98 7:00	0.96	2601.295	0.00667	29-8-98 22:00	1.05	2602.914	0.00765	1-9-98 13:00	0.78	2604.572	0.00755
27-8-98 8:00	0.90	2601.319	0.00667	29-8-98 23:00	1.15	2602.941	0.00765	1-9-98 14:00	0.76	2604.593	0.00587
27-8-98 9:00	0.80	2601.342	0.00650	30-8-98 0:00	1.26	2602.969	0.00765	1-9-98 15:00	0.80	2604.625	0.00890
27-8-98 10:00	0.80	2601.372	0.00817	30-8-98 1:00	1.37	2602.996	0.00765	1-9-98 16:00	0.82	2604.660	0.00969
27-8-98 11:00	0.80	2601.401	0.00799	30-8-98 2:00	1.49	2603.024	0.00765	1-9-98 17:00	0.84	2604.684	0.00653
27-8-98 12:00	0.79	2601.424	0.00652	30-8-98 3:00	1.61	2603.051	0.00765	1-9-98 18:00	0.86	2604.699	0.00414
27-8-98 13:00	0.77	2601.446	0.00601	30-8-98 4:00	1.56	2603.079	0.00765	1-9-98 19:00	0.86	2604.746	0.01305
27-8-98 14:00	0.76	2601.470	0.00675	30-8-98 5:00	1.52	2603.106	0.00765	1-9-98 20:00	0.89	2604.760	0.00384
27-8-98 15:00	0.79	2601.499	0.00800	30-8-98 6:00	1.46	2603.134	0.00765	1-9-98 21:00	0.90	2604.889	0.03596
27-8-98 16:00	0.81	2601.527	0.00780	30-8-98 7:00	1.41	2603.162	0.00765	1-9-98 22:00	0.95	2604.910	0.00576
27-8-98 17:00	0.80	2601.555	0.00781	30-8-98 8:00	1.35	2603.189	0.00765	1-9-98 23:00	0.97	2604.930	0.00563
27-8-98 18:00	0.82	2601.582	0.00757	30-8-98 9:00	1.12	2603.210	0.00587				
27-8-98 19:00	0.86	2601.603	0.00563	30-8-98 10:00	0.98	2603.221	0.00300	Promedio Total	1.01		0.00737
27-8-98 20:00	0.86	2601.626	0.00659	30-8-98 11:00	0.80	2603.242	0.00591				
27-8-98 21:00	0.93	2601.650	0.00659	30-8-98 12:00	0.85	2603.299	0.01577				
27-8-98 22:00	0.99	2601.674	0.00659	30-8-98 13:00	0.86	2603.326	0.00752				
27-8-98 23:00	1.06	2601.697	0.00659	30-8-98 14:00	0.85	2603.352	0.00717				
28-8-98 0:00	1.13	2601.721	0.00659	30-8-98 15:00	0.88	2603.378	0.00711				
28-8-98 1:00	1.20	2601.745	0.00659	30-8-98 16:00	0.95	2603.405	0.00766				
28-8-98 2:00	1.26	2601.769	0.00659	30-8-98 17:00	0.94	2603.435	0.00829				
28-8-98 3:00	1.33	2601.792	0.00659	30-8-98 18:00	0.95	2603.456	0.00592				
28-8-98 4:00	1.26	2601.816	0.00659	30-8-98 19:00	0.89	2603.492	0.01002				
28-8-98 5:00	1.20	2601.840	0.00659	30-8-98 20:00	0.89	2603.517	0.00691				
28-8-98 6:00	1.13	2601.864	0.00659	30-8-98 21:00	0.99	2603.542	0.00685				
28-8-98 7:00	1.06	2601.887	0.00659	30-8-98 22:00	1.09	2603.567	0.00685				
28-8-98 8:00	0.99	2601.911	0.00659	30-8-98 23:00	1.19	2603.591	0.00685				
28-8-98 9:00	0.85	2601.934	0.00641	31-8-98 0:00	1.28	2603.616	0.00685				
28-8-98 10:00	0.84	2601.956	0.00610	31-8-98 1:00	1.38	2603.641	0.00685				
28-8-98 11:00	0.79	2601.980	0.00667	31-8-98 2:00	1.48	2603.665	0.00685				
28-8-98 12:00	0.81	2602.006	0.00722	31-8-98 3:00	1.58	2603.690	0.00685				
28-8-98 13:00	0.74	2602.030	0.00667	31-8-98 4:00	1.48	2603.715	0.00685				
28-8-98 14:00	0.75	2602.030	0.00000	31-8-98 5:00	1.38	2603.739	0.00685				
28-8-98 15:00	0.78	2602.070	0.01102	31-8-98 6:00	1.29	2603.764	0.00685				
28-8-98 16:00	0.82	2602.110	0.01113	31-8-98 7:00	1.19	2603.789	0.00685				
28-8-98 17:00	0.83	2602.153	0.01202	31-8-98 8:00	1.09	2603.813	0.00685				
28-8-98 18:00	0.86	2602.153	0.00000	31-8-98 9:00	0.88	2603.835	0.00607				
28-8-98 19:00	0.87	2602.208	0.01515	31-8-98 10:00	0.82	2603.851	0.00438				
28-8-98 20:00	0.88	2602.235	0.00756	31-8-98 11:00	0.81	2603.911	0.01667				
28-8-98 21:00	0.97	2602.262	0.00756	31-8-98 12:00	0.80	2603.916	0.00137				
28-8-98 22:00	1.05	2602.289	0.00756	31-8-98 13:00	0.80	2603.927	0.00298				
28-8-98 23:00	1.14	2602.316	0.00756	31-8-98 14:00	0.78	2603.960	0.00923				

Tabla 9.7 Presiones, volúmenes y gastos medidos en la casa No. 56

Fecha	Presión kg/cm ²											
26-8-98 9:00	0.32	1955.861		29-8-98 0:00	0.52	1959.570	0.006112	31-8-98 15:00	0.34	1962.385	0.000000	
26-8-98 10:00	0.32	1956.054	0.053604	29-8-98 1:00	0.55	1959.592	0.006112	31-8-98 16:00	0.35	1962.385	0.000000	
26-8-98 11:00	0.32	1956.247	0.053604	29-8-98 2:00	0.59	1959.614	0.006112	31-8-98 17:00	0.36	1962.460	0.020819	
26-8-98 12:00	0.32	1956.465	0.060472	29-8-98 3:00	0.62	1959.636	0.006112	31-8-98 18:00	0.35	1962.603	0.039787	
26-8-98 13:00	0.32	1956.613	0.041118	29-8-98 4:00	0.60	1959.658	0.006112	31-8-98 19:00	0.37	1962.695	0.025494	
26-8-98 14:00	0.33	1956.787	0.048303	29-8-98 5:00	0.57	1959.680	0.006112	31-8-98 20:00	0.39	1962.753	0.016177	
26-8-98 15:00	0.34	1956.963	0.048976	29-8-98 6:00	0.54	1959.702	0.006112	31-8-98 21:00	0.40	1962.846	0.025914	
26-8-98 16:00	0.32	1957.158	0.054128	29-8-98 7:00	0.51	1959.724	0.006112	31-8-98 22:00	0.42	1962.940	0.025914	
26-8-98 17:00	0.32	1957.282	0.034426	29-8-98 8:00	0.48	1959.746	0.006112	31-8-98 23:00	0.43	1962.695	0.025914	
26-8-98 18:00	0.32	1957.446	0.045638	29-8-98 9:00	0.41	1959.770	0.006683	1-9-98 0:00	0.45	1963.126	0.025914	
26-8-98 19:00	0.32	1957.494	0.013160	29-8-98 10:00	0.37	1959.785	0.004076	1-9-98 1:00	0.46	1963.220	0.025914	
26-8-98 20:00	0.32	1957.507	0.003654	29-8-98 11:00	0.34	1959.789	0.001228	1-9-98 2:00	0.47	1963.313	0.025914	
26-8-98 21:00	0.35	1957.520	0.003654	29-8-98 12:00	0.33	1960.250	0.128032	1-9-98 3:00	0.49	1963.033	0.025914	
26-8-98 22:00	0.37	1957.533	0.003654	29-8-98 13:00	0.33	1960.907	0.182421	1-9-98 4:00	0.50	1963.500	0.025914	
26-8-98 23:00	0.40	1957.546	0.003654	29-8-98 14:00	0.34	1960.938	0.008674	1-9-98 5:00	0.58	1963.668	0.046813	
27-8-98 0:00	0.42	1957.559	0.003654	29-8-98 15:00	0.33	1960.947	0.002613	1-9-98 6:00	0.52	1963.669	0.000324	
27-8-98 1:00	0.45	1957.573	0.003654	29-8-98 16:00	0.32	1961.205	0.071612	1-9-98 7:00	0.45	1963.670	0.000145	
27-8-98 2:00	0.48	1957.586	0.003654	29-8-98 17:00	0.31	1961.959	0.209449	1-9-98 8:00	0.38	1963.674	0.001108	
27-8-98 3:00	0.48	1957.599	0.003654	29-8-98 18:00	0.34	1961.959	0.000000	1-9-98 9:00	0.39	1963.677	0.000909	
27-8-98 4:00	0.46	1957.612	0.003654	29-8-98 19:00	0.34	1961.960	0.000251	1-9-98 10:00	0.37	1963.677	0.000127	
27-8-98 5:00	0.44	1957.625	0.003654	29-8-98 20:00	0.34	1961.967	0.002085	1-9-98 11:00	0.35	1963.677	0.000007	
27-8-98 6:00	0.41	1957.638	0.003654	29-8-98 21:00	0.38	1961.984	0.004521	1-9-98 12:00	0.33	1963.678	0.000278	
27-8-98 7:00	0.39	1957.651	0.003654	29-8-98 22:00	0.42	1962.000	0.004521	1-9-98 13:00	0.34	1963.680	0.000306	
27-8-98 8:00	0.36	1957.665	0.003654	29-8-98 23:00	0.46	1962.016	0.004521	1-9-98 14:00	0.32	1963.681	0.000394	
27-8-98 9:00	0.33	1957.680	0.004263	30-8-98 0:00	0.49	1962.033	0.004521	1-9-98 15:00	0.31	1963.681	0.000000	
27-8-98 10:00	0.34	1957.680	0.000000	30-8-98 1:00	0.54	1962.049	0.004521	1-9-98 16:00	0.36	1963.522	0.000000	
27-8-98 11:00	0.33	1957.680	0.000000	30-8-98 2:00	0.58	1962.065	0.004521	1-9-98 17:00	0.33	1963.566	0.012218	
27-8-98 12:00	0.34	1957.680	0.000028	30-8-98 3:00	0.62	1962.081	0.004521	1-9-98 18:00	0.37	1963.640	0.020607	
27-8-98 13:00	0.34	1957.681	0.000250	30-8-98 4:00	0.60	1962.098	0.004521	1-9-98 19:00	0.37	1964.007	0.101975	
27-8-98 14:00	0.34	1957.681	0.000000	30-8-98 5:00	0.58	1962.114	0.004521	1-9-98 20:00	0.39	1964.056	0.013436	
27-8-98 15:00	0.34	1957.688	0.001944	30-8-98 6:00	0.56	1962.130	0.004521	1-9-98 21:00	0.41	1964.159	0.028689	
27-8-98 16:00	0.34	1957.695	0.002007	30-8-98 7:00	0.54	1962.146	0.004521	1-9-98 22:00	0.42	1964.201	0.011638	
27-8-98 17:00	0.33	1957.785	0.025039	30-8-98 8:00	0.51	1962.163	0.004521	1-9-98 23:00	0.42	1964.250	0.013611	
27-8-98 18:00	0.33	1957.843	0.015907	30-8-98 9:00	0.44	1962.187	0.006665					
27-8-98 19:00	0.36	1957.956	0.031382	30-8-98 10:00	0.38	1962.231	0.012274	Promedio total	0.42		0.0151	
27-8-98 20:00	0.36	1958.042	0.023884	30-8-98 11:00	0.37	1962.255	0.006587					
27-8-98 21:00	0.39	1958.128	0.023884	30-8-98 12:00	0.37	1962.265	0.002888					
27-8-98 22:00	0.42	1958.214	0.023884	30-8-98 13:00	0.37	1962.272	0.001882					
27-8-98 23:00	0.45	1958.300	0.023884	30-8-98 14:00	0.37	1962.280	0.002394					
28-8-98 0:00	0.49	1958.386	0.023884	30-8-98 15:00	0.39	1962.281	0.000168					
28-8-98 1:00	0.52	1958.471	0.023884	30-8-98 16:00	0.38	1962.281	0.000000					
28-8-98 2:00	0.55	1958.557	0.023884	30-8-98 17:00	0.39	1962.281	0.000096					
28-8-98 3:00	0.58	1958.643	0.023884	30-8-98 18:00	0.40	1962.285	0.001093					
28-8-98 4:00	0.56	1958.729	0.023884	30-8-98 19:00	0.39	1962.316	0.008592					
28-8-98 5:00	0.53	1958.815	0.023884	30-8-98 20:00	0.38	1962.371	0.015296					
28-8-98 6:00	0.50	1958.901	0.023884	30-8-98 21:00	0.42	1962.372	0.000269					
28-8-98 7:00	0.48	1958.987	0.023884	30-8-98 22:00	0.46	1962.373	0.000269					
28-8-98 8:00	0.45	1959.073	0.023884	30-8-98 23:00	0.51	1962.374	0.000269					
28-8-98 9:00	0.40	1959.185	0.030942	31-8-98 0:00	0.55	1962.375	0.000269					
28-8-98 10:00	0.35	1959.194	0.002662	31-8-98 1:00	0.59	1962.376	0.000269					
28-8-98 11:00	0.41	1959.196	0.000507	31-8-98 2:00	0.63	1962.377	0.000269					
28-8-98 12:00	0.28	1959.235	0.010789	31-8-98 3:00	0.67	1962.378	0.000269					
28-8-98 13:00	0.43	1959.235	0.000000	31-8-98 4:00	0.63	1962.379	0.000269					
28-8-98 14:00	0.32	1959.237	0.000486	31-8-98 5:00	0.59	1962.380	0.000269					
28-8-98 15:00	0.36	1959.250	0.003681	31-8-98 6:00	0.55	1962.381	0.000269					
28-8-98 16:00	0.37	1959.275	0.006905	31-8-98 7:00	0.51	1962.382	0.000269					
28-8-98 17:00	0.34	1959.277	0.000493	31-8-98 8:00	0.46	1962.383	0.000269					
28-8-98 18:00	0.37	1959.319	0.011700	31-8-98 9:00	0.38	1962.384	0.000305					
28-8-98 19:00	0.38	1959.460	0.039162	31-8-98 10:00	0.36	1962.384	0.000000					
28-8-98 20:00	0.38	1959.482	0.006112	31-8-98 11:00	0.33	1962.384	0.000000					
28-8-98 21:00	0.41	1959.504	0.006112	31-8-98 12:00	0.34	1962.384	0.000129					
28-8-98 22:00	0.45	1959.526	0.006112	31-8-98 13:00	0.34	1962.385	0.000148					
28-8-98 23:00	0.48	1959.548	0.006112	31-8-98 14:00	0.34	1962.385	0.000000					

Tabla 9.8 Presiones, volúmenes y gastos medidos en la casa No. 70

26-8-98 9:00	0.84	2190.910		29-8-98 0:00	1.23	2192.172	0.000918	31-8-98 15:00	0.81	2192.444	0.000172
26-8-98 10:00	0.82	2191.178	0.074194	29-8-98 1:00	1.32	2192.176	0.000918	31-8-98 16:00	0.81	2192.444	0.000106
26-8-98 11:00	0.80	2191.445	0.074194	29-8-98 2:00	1.41	2192.179	0.000918	31-8-98 17:00	0.82	2192.445	0.000139
26-8-98 12:00	0.77	2191.823	0.105108	29-8-98 3:00	1.50	2192.182	0.000918	31-8-98 18:00	0.83	2192.445	0.000139
26-8-98 13:00	0.77	2191.823	0.000000	29-8-98 4:00	1.44	2192.186	0.000918	31-8-98 19:00	0.87	2192.446	0.000163
26-8-98 14:00	0.75	2191.823	0.000000	29-8-98 5:00	1.38	2192.189	0.000918	31-8-98 20:00	0.92	2192.447	0.000449
26-8-98 15:00	0.78	2191.823	0.000000	29-8-98 6:00	1.32	2192.192	0.000918	31-8-98 21:00	0.96	2192.449	0.000515
26-8-98 16:00	0.75	2191.823	0.000000	29-8-98 7:00	1.26	2192.196	0.000918	31-8-98 22:00	1.00	2192.451	0.000515
26-8-98 17:00	0.79	2191.823	0.000000	29-8-98 8:00	1.19	2192.199	0.000918	31-8-98 23:00	1.04	2192.453	0.000515
26-8-98 18:00	0.81	2191.823	0.000057	29-8-98 9:00	0.97	2192.201	0.000597	1-9-98 0:00	1.08	2192.455	0.000515
26-8-98 19:00	0.80	2191.824	0.000086	29-8-98 10:00	0.84	2192.201	0.000000	1-9-98 1:00	1.12	2192.456	0.000515
26-8-98 20:00	0.80	2191.834	0.002896	29-8-98 11:00	0.78	2192.201	0.000000	1-9-98 2:00	1.16	2192.458	0.000515
26-8-98 21:00	0.86	2191.846	0.003313	29-8-98 12:00	0.75	2192.261	0.016528	1-9-98 3:00	1.20	2192.460	0.000515
26-8-98 22:00	0.92	2191.858	0.003313	29-8-98 13:00	0.74	2192.341	0.022381	1-9-98 4:00	1.24	2192.462	0.000515
26-8-98 23:00	0.98	2191.870	0.003313	29-8-98 14:00	0.75	2192.365	0.006647	1-9-98 5:00	1.40	2192.465	0.000824
27-8-98 0:00	1.04	2191.882	0.003313	29-8-98 15:00	0.77	2192.365	0.000000	1-9-98 6:00	1.23	2192.465	0.000000
27-8-98 1:00	1.11	2191.894	0.003313	29-8-98 16:00	0.80	2192.365	0.000000	1-9-98 7:00	1.02	2192.465	0.000000
27-8-98 2:00	1.17	2191.906	0.003313	29-8-98 17:00	0.83	2192.366	0.000198	1-9-98 8:00	0.98	2192.468	0.000833
27-8-98 3:00	1.18	2191.917	0.003313	29-8-98 18:00	0.83	2192.418	0.014524	1-9-98 9:00	0.91	2192.468	0.000000
27-8-98 4:00	1.12	2191.929	0.003313	29-8-98 19:00	0.87	2192.367	0.001000	1-9-98 10:00	0.84	2192.469	0.000153
27-8-98 5:00	1.06	2191.941	0.003313	29-8-98 20:00	0.89	2192.369	0.000290	1-9-98 11:00	0.81	2192.494	0.007055
27-8-98 6:00	0.99	2191.953	0.003313	29-8-98 21:00	0.98	2192.368	0.000083	1-9-98 12:00	0.80	2192.513	0.005236
27-8-98 7:00	0.93	2191.965	0.003313	29-8-98 22:00	1.08	2192.369	0.000083	1-9-98 13:00	0.79	2192.663	0.041840
27-8-98 8:00	0.87	2191.977	0.003313	29-8-98 23:00	1.19	2192.369	0.000083	1-9-98 14:00	0.77	2192.666	0.000716
27-8-98 9:00	0.79	2191.988	0.003037	30-8-98 0:00	1.29	2192.369	0.000083	1-9-98 15:00	0.80	2192.666	0.000000
27-8-98 10:00	0.82	2191.988	0.000000	30-8-98 1:00	1.40	2192.370	0.000083	1-9-98 16:00	0.78	2192.666	0.000000
27-8-98 11:00	0.81	2191.988	0.000000	30-8-98 2:00	1.52	2192.370	0.000083	1-9-98 17:00	0.81	2192.666	0.000000
27-8-98 12:00	0.79	2191.988	0.000000	30-8-98 3:00	1.64	2192.370	0.000083	1-9-98 18:00	0.85	2192.666	0.000102
27-8-98 13:00	0.79	2191.988	0.000000	30-8-98 4:00	1.59	2192.371	0.000083	1-9-98 19:00	0.86	2192.667	0.000176
27-8-98 14:00	0.77	2191.988	0.000000	30-8-98 5:00	1.54	2192.371	0.000083	1-9-98 20:00	0.91	2192.667	0.000000
27-8-98 15:00	0.81	2191.988	0.000000	30-8-98 6:00	1.49	2192.371	0.000083	1-9-98 21:00	0.94	2192.667	0.000000
27-8-98 16:00	0.86	2191.988	0.000000	30-8-98 7:00	1.43	2192.371	0.000083	1-9-98 22:00	0.97	2192.667	0.000029
27-8-98 17:00	0.82	2191.988	0.000000	30-8-98 8:00	1.37	2192.372	0.000083	1-9-98 23:00	0.98	2192.668	0.000248
27-8-98 18:00	0.81	2191.988	0.000000	30-8-98 9:00	1.15	2192.372	0.000058				
27-8-98 19:00	0.85	2191.989	0.000144	30-8-98 10:00	1.01	2192.372	0.000000	Promedio total	1.00		0.00321
27-8-98 20:00	0.85	2191.995	0.001732	30-8-98 11:00	0.93	2192.373	0.000188				
27-8-98 21:00	0.92	2192.002	0.002009	30-8-98 12:00	0.89	2192.373	0.000090				
27-8-98 22:00	0.99	2192.009	0.002009	30-8-98 13:00	0.87	2192.373	0.000000				
27-8-98 23:00	1.06	2192.016	0.002009	30-8-98 14:00	0.88	2192.373	0.000000				
28-8-98 0:00	1.12	2192.024	0.002009	30-8-98 15:00	0.90	2192.373	0.000000				
28-8-98 1:00	1.19	2192.031	0.002009	30-8-98 16:00	0.94	2192.373	0.000000				
28-8-98 2:00	1.26	2192.038	0.002009	30-8-98 17:00	0.96	2192.373	0.000000				
28-8-98 3:00	1.33	2192.045	0.002009	30-8-98 18:00	0.96	2192.373	0.000000				
28-8-98 4:00	1.27	2192.053	0.002009	30-8-98 19:00	0.92	2192.373	0.000000				
28-8-98 5:00	1.20	2192.060	0.002009	30-8-98 20:00	0.89	2192.376	0.000719				
28-8-98 6:00	1.14	2192.067	0.002009	30-8-98 21:00	0.99	2192.380	0.001347				
28-8-98 7:00	1.07	2192.074	0.002009	30-8-98 22:00	1.08	2192.385	0.001347				
28-8-98 8:00	1.00	2192.082	0.002009	30-8-98 23:00	1.18	2192.390	0.001347				
28-8-98 9:00	0.88	2192.090	0.002307	31-8-98 0:00	1.28	2192.395	0.001347				
28-8-98 10:00	0.81	2192.090	0.000120	31-8-98 1:00	1.37	2192.400	0.001347				
28-8-98 11:00	0.82	2192.099	0.002417	31-8-98 2:00	1.47	2192.405	0.001347				
28-8-98 12:00	0.79	2192.099	0.000000	31-8-98 3:00	1.56	2192.410	0.001347				
28-8-98 13:00	0.79	2192.104	0.001273	31-8-98 4:00	1.47	2192.414	0.001347				
28-8-98 14:00	0.77	2192.118	0.003980	31-8-98 5:00	1.37	2192.419	0.001347				
28-8-98 15:00	0.78	2192.141	0.006414	31-8-98 6:00	1.27	2192.424	0.001347				
28-8-98 16:00	0.88	2192.141	0.000000	31-8-98 7:00	1.17	2192.429	0.001347				
28-8-98 17:00	0.85	2192.141	0.000000	31-8-98 8:00	1.07	2192.434	0.001347				
28-8-98 18:00	0.88	2192.141	0.000085	31-8-98 9:00	0.91	2192.438	0.001168				
28-8-98 19:00	0.88	2192.156	0.004053	31-8-98 10:00	0.84	2192.438	0.000000				
28-8-98 20:00	0.89	2192.159	0.000918	31-8-98 11:00	0.81	2192.440	0.000524				
28-8-98 21:00	0.97	2192.163	0.000918	31-8-98 12:00	0.80	2192.442	0.000664				
28-8-98 22:00	1.05	2192.166	0.000918	31-8-98 13:00	0.78	2192.443	0.000201				
28-8-98 23:00	1.14	2192.169	0.000918	31-8-98 14:00	0.79	2192.443	0.000000				

PRESIONES EN LA CASA No. 56

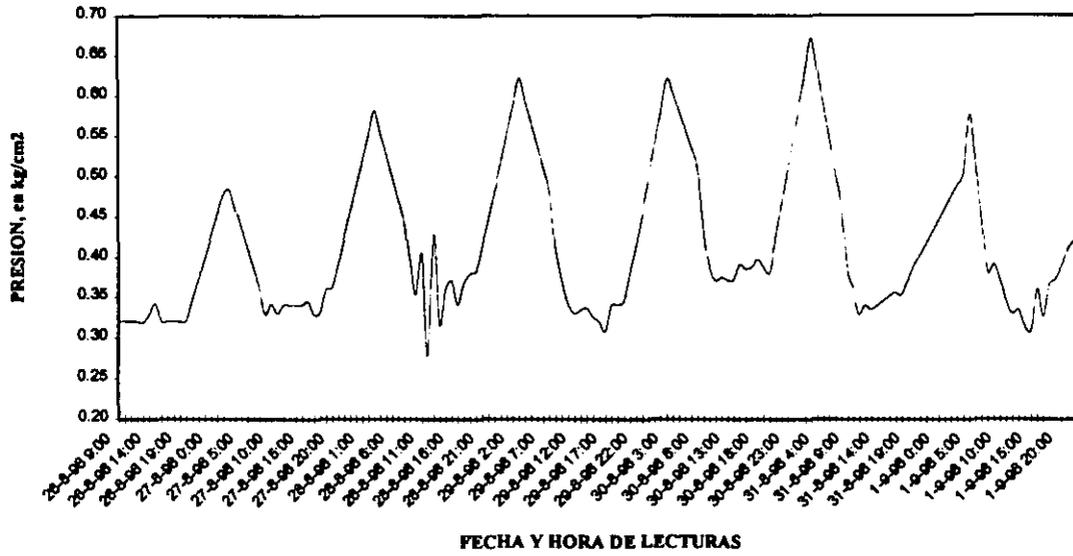


Figura 9.3 Presiones de la casa No. 56

GASTOS DE CONSUMOS DE LA CASA No. 56

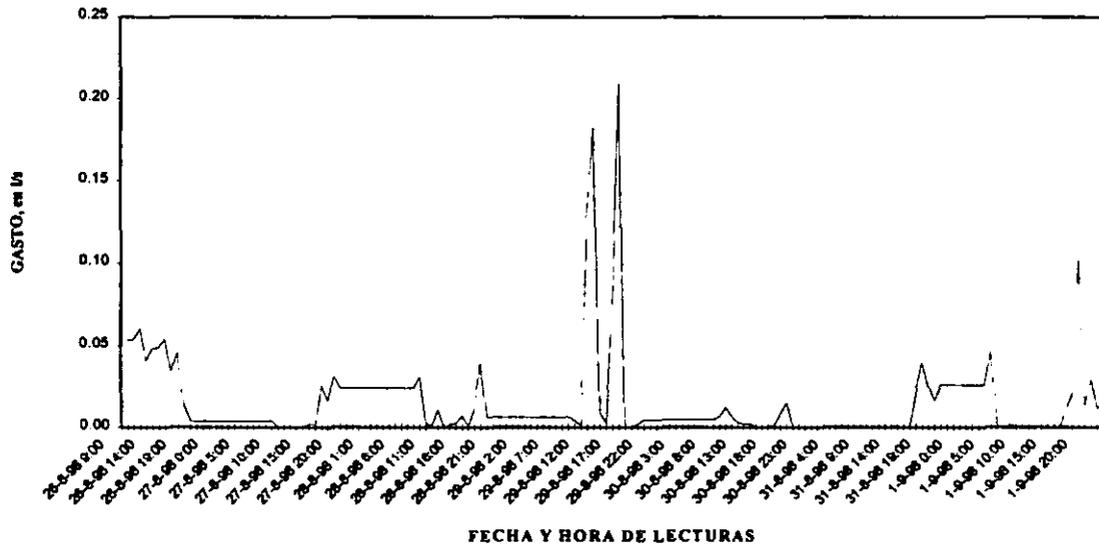


Figura 9.4 Gastos de consumos de la casa No. 56

PRESIONES EN LA CASA No.70

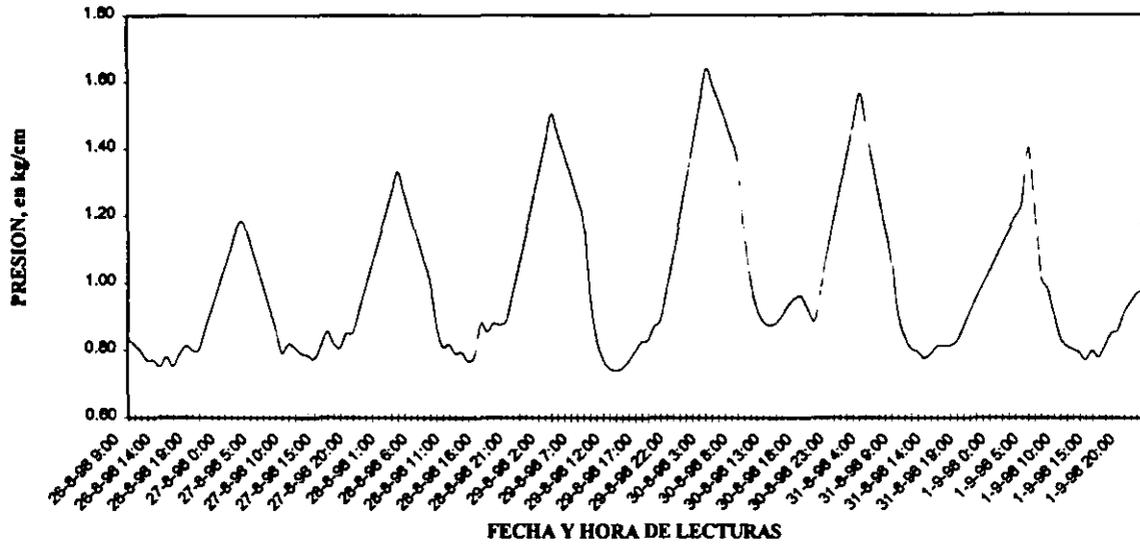


Figura 9.5 Presiones de la casa No. 70

GASTOS DE CONSUMOS DE LA CASA No.70

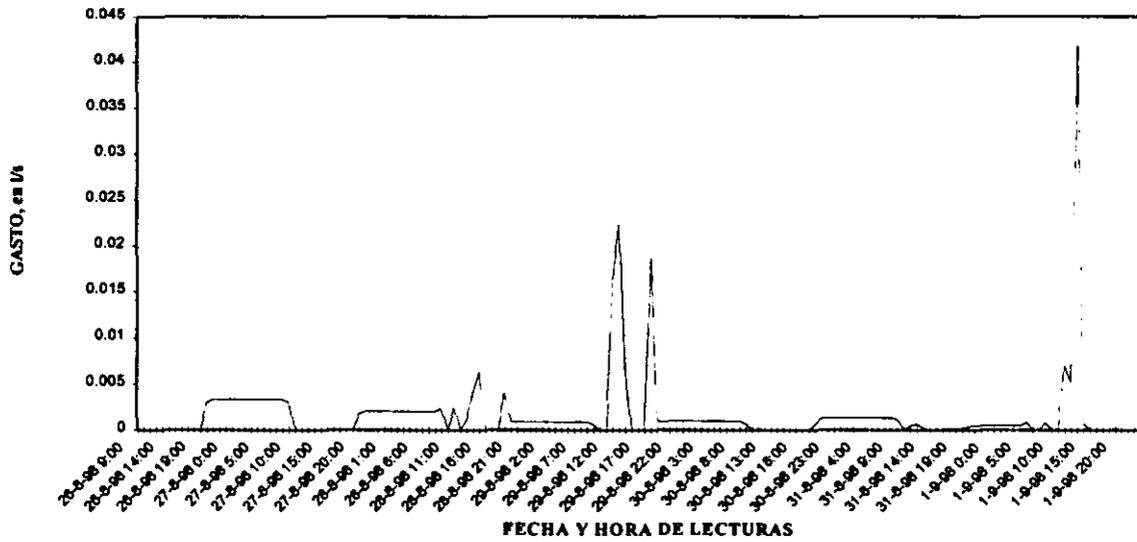


Figura 9.6 Gastos de consumos de la casa No.70

9.2 Medición de presiones aplicando el método y resultados

Terminada la medición de presiones y caudales se paso a la segunda etapa que consistía en aplicar el método de detección de fugas. Para estas mediciones se cerraban las válvulas de seccionamiento al final del cuadro de tres tomas adyacentes y después de tomar las presiones se recorría un domicilio hasta cubrir un ciclo completo, es decir las 16 tomas. Se llevaron a cabo seis ciclos completos de mediciones.

En la tabla 9.9 tenemos un ejemplo de uno de los ciclos. Se escogió el sexto ciclo, que se realizó de las 19:16 a las 19:35 p.m., ya que como se observa en las tablas 9.6 a 9.8 conforme avanza el día las presiones van aumentando hasta llegar a un máximo a partir de las 22:00 p.m. a las 7:00 a.m. Se nota que la casa No.56 presenta presiones por debajo del promedio general de todas las demás tomas.

Tabla 9.9 Sexto ciclo de medida de presiones aplicando el método para detectar fugas

1	0,88	0,86	0,39														
2		0,87	0,38	0,89													
3			0,4	0,9	0,865												
4				0,885	0,865	0,88											
5					0,885	0,895	0,885										
6						0,91	0,865	0,865									
7							0,885	0,86	0,895								
8								0,85	0,885	0,875							
9									0,9	0,885	0,875						
10										0,855	0,865	0,91					
11											0,855	0,89	0,86				
12												0,91	0,87	0,86			
13													0,87	0,855	0,88		
14														0,85	0,855	0,855	

En la tabla 9.10 se consignan resultados obtenidos al aplicar el paso 8 del método, observamos que en el grupo 2, formado por las tomas de las casas 53, 56 y 55 existe la relación $p_p/p_i = 2.33 \geq F = 1.15$, por lo tanto en la toma 56 existe una fuga. Precisamente ahí donde los aparatos electrónicos de localización de fugas la habían detectado con anterioridad.

Tabla 9.10 Resultados obtenidos de los trabajos de campo

1	51, 53, 56	0.32	12.38	8.80	8.60	3.90	8.68	1.00	≤ 1.15
2	53, 56, 55	12.38	2.16	8.70	3.80	8.90	8.87	2.33	≥ 1.15
3	56, 55, 57	2.16	0.32	4.00	9.00	8.70	8.09	0.90	≤ 1.15
4	55, 57, 60	0.32	12.84	8.90	8.70	8.80	8.89	1.02	≤ 1.15
5	57, 60, 62	12.84	0.32	8.90	9.00	8.90	8.90	0.99	≤ 1.15
6	60, 62, 61	0.32	2.59	9.10	8.70	8.70	9.06	1.04	≤ 1.15
7	62, 61, 63	2.59	0.32	8.90	8.60	9.00	8.99	1.05	≤ 1.15
8	61, 63, 64	0.32	12.41	8.50	8.90	8.80	8.51	0.96	≤ 1.15
9	63, 64, 66	12.41	0.32	9.00	8.90	8.80	8.80	0.99	≤ 1.15
10	64, 66, 65	0.32	3.02	8.60	8.70	9.10	8.65	0.99	≤ 1.15
11	66, 65, 67	3.02	0.32	8.60	8.90	8.60	8.60	0.97	≤ 1.15
12	65, 67, 70	0.32	11.98	9.10	8.70	8.60	9.09	1.04	≤ 1.15
13	67, 70, 69	11.98	0.32	8.70	8.60	8.80	8.78	1.02	≤ 1.15
14	70, 69, 72	0.32	3.45	8.50	8.60	8.60	8.51	0.99	≤ 1.15

Una vez localizada la fuga se procedió a su reparación. Es de mencionar que a los 30 cm de la toma 56 existía otra toma no registrada y posiblemente abandonada, la cual también presentaba una fuga. Esto hace suponer la presión tan baja que existía en la toma 56, de aproximadamente el 43% del promedio de las tomas 53 y 55. Las dos fugas se localizaron en las abrazaderas de las tomas.

El gasto de las dos fugas detectadas fue de 0.165 l/s, estas fugas provocaban una pérdida diaria de 14, 256 l.

Finalmente se procedió con la tercera etapa la cual consistió en tomar las medidas de presiones y gastos en la entrada de la red y en las tomas domiciliarias posterior a la eliminación de la fuga. En la figura 9.7 y 9.8 se observa las presiones y los gastos de consumos para la toma de la casa No. 56 (donde existía la fuga), que únicamente fueron tomadas por tres días. En las figuras se observa un importante aumento de presión, siendo el promedio de 1.10 kg/cm², se observo un 10% de aumento de presión para todas las demás tomas.

PRESIONES EN LA CASA No.56

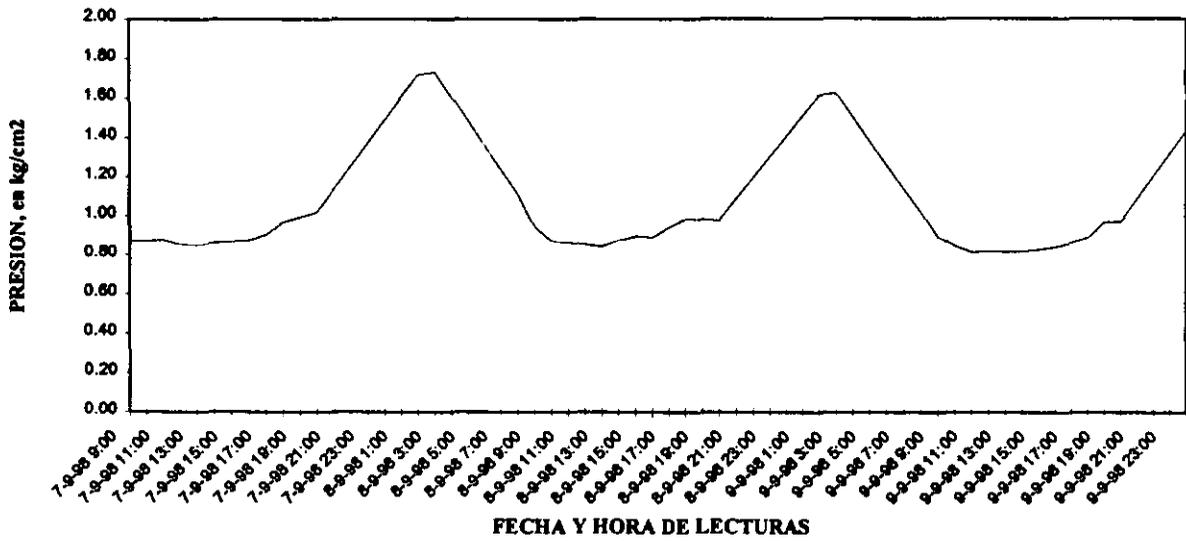
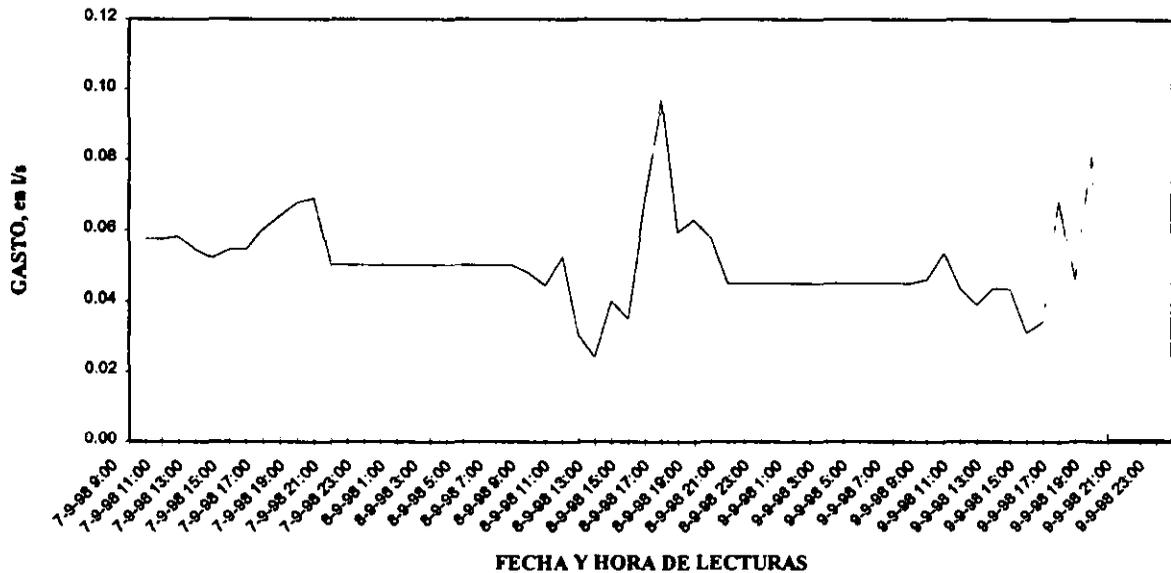


Figura 9.7 Presiones en la casa No. 56 después de reparada la fuga

GASTOS DE CONSUMO DE LA CASA No.56



9.8 Gastos de consumo de la casa No. 56 después de reparada la fuga

Finalmente se presenta la tabla 9.11 la cual muestra los resultados generales antes de corregir la fuga y después de corregida.

Tabla 9.11 Resultados de datos generales de la calle en estudio

Datos generales		
Consumo diario de la zona	16,775 l	15,794 l
Gasto aforado de la zona	0.194 l/s	0.183 l/s
Consumo promedio diario por casa	1,048 l	987 l
Gasto aforado por casa	0.012 l/s	0.011 l/s
Dotación promedio	336 l/hab/día	316 l/hab/día
Número promedio de habitantes por casa	3.13 hab/viv	3.13 hab/viv
Número de casas habitación	16 viviendas	16 viviendas
Número de habitantes	50 hab	50 hab

9.3 Efectividad del método aplicado a los estudios de campo

En esta primera fase del estudio en campo se encontró que aplicando todos los pasos del inciso 6.2 al tramo de red seleccionada, efectivamente se logró detectar la fuga. Contrario a lo que se esperaba la fuga se localizó en la válvula de inserción y no en el ramal de la toma domiciliaria. La relación de presiones p_p/p_i fue 83% superior a la que se presentaba en fugas en válvulas de inserción en el modelo experimental. En las siguientes fases del estudio de campo se pretende examinar diferentes condiciones de tramos de redes secundarias en distintas zonas socioeconómicas de las delegaciones del Distrito Federal.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se presentó un método para detectar fugas no visibles en tomas domiciliarias de una red secundaria de abastecimiento de agua potable. Las bases teóricas del método tienen como origen la pérdidas de carga generadas por esfuerzo cortante en la tubería de la red secundaria, y para su aplicación la toma de presiones al final de cada toma domiciliaria.

Del estudio para aplicar la metodología de detección de fugas, que se realizó en el modelo físico construido en los Laboratorios de Hidráulica del Instituto de Ingeniería, se desprenden las siguientes conclusiones.

Este estudio se llevo a cabo en tomas domiciliarias tipo, de aleación de cobre con especificaciones basadas en la norma NOM-002-CNA-1995.

La aplicación del método a un grupo de tres tomas en las cuales fluye un gasto, da como resultados un alto grado de incertidumbre en la detección de la fuga. Pero si se cumplen con los procedimientos del subcapítulo 6.2 se obtiene una probabilidad muy alta en la detección de la fuga. Es decir, se debe cuidar de que no exista un gasto a través de los grupos de tomas donde se tomen presiones.

Lo anterior implica que para facilitar el trabajo de las brigadas de localización de fugas, sería recomendable incluir dentro de las normas oficiales para tomas domiciliarias una válvula de seccionamiento en el tramo de tubo rígido que se encuentra después de la llave de nariz, para suspender el servicio de agua de manera rápida y momentánea durante la toma de presiones.

Es importante señalar que en la red experimental para que se alcanzaran a leer las presiones con manómetros patrón, al final del cuadro de las tomas domiciliarias debían de estar con presiones por arriba de 1 *mca*.

Por lo tanto se recomendaría utilizar en campo manómetros patrón de 0-2 kg/cm^2 y 0-4 kg/cm^2 , y que para aplicar el método las presiones mínimas en la red secundaria estas deberían de estar por arriba de los 2 *mca*.

En el laboratorio la mayoría de los ensayos se realizaron con una abertura media a total de las llaves donde se representaban las fugas. Es importante mencionar que la detección de la fuga también dependerá de que el gasto de fuga sea importante y este genere caídas de presión detectables con manómetros.

El método puede ser aplicado a cualquier tipo de toma domiciliaria, es decir en un grupo de tres tomas podrían haber una combinación de Fo. Go., PVC, plomo, Bronce, etc. Debido a que no intervienen las características del material, la longitud, diámetro y piezas especiales, ya que las tomas domiciliarias se consideran como tubos piezométricos. 

Para medir las presiones en campo, se debe verificar que los puntos de medición se encuentren a la misma altura en todas las tomas respecto de un plano de referencia, si no es el caso, se debe hacer el ajuste correspondiente al comparar las presiones medidas, registrando el desnivel entre ellas.

Los valores de p_p/p_i mas grandes se dieron para fugas causadas en el ramal de la toma domiciliaria, en cambio los valores más pequeños (superiores a 1.15) se debieron fugas ocasionadas en la válvula de inserción.

En las pruebas realizadas también se detectaron dos fugas separadas tres tomas domiciliarias una de otra, esto indica la bondad del método. Aunque no se realizaron pruebas para observar que sucedía en caso de que se tuvieran dos fugas contiguas.

La aplicación del método en campo requiere de un análisis estadístico para saber su confiabilidad, ya que en campo pueden existir variables que pudieron no haber sido consideradas en laboratorio. Esto ayudaría a realizar ajustes en el método para mejorarlo.

El tema aun no esta agotado y es conveniente continuar realizando ensayos para situaciones diferentes a las consideradas en este trabajo, como el caso de dos fugas contiguas en el ramal, en las válvulas de inserción o una combinación de ambas.

De este estudio se encontró que las pérdidas generadas por las tomas domiciliarias son grandes. Actualmente dentro de las normas mexicanas sobre construcción y diseño de tomas no se menciona este importante factor y no se contemplan nuevos diseños que reduzcan las pérdidas de carga. Estos nuevos diseños deberían de considerar la eliminación o reducción de codos, la utilización de registros, para evitar la forma actual del cuadro, etc.

Cabe mencionar que en las ciudades se invierten grandes recursos económicos para abastecerlas de agua, sobre todo cuando las fuentes de suministro están alejadas de ellas. Esta inversión incluye el costo que debe pagarse por la cantidad de agua que se pierde en fugas, ya que se debe conducir un gasto mayor al de consumo para restarle el gasto de fugas, por lo que es importante contar con un plan de detección y reducción de fugas que disminuyan la magnitud de dicho gasto.

La reparación de una toma domiciliaria con fuga repercute en costos directos que encarecen la operación, ya sea por la sustitución de piezas o en su caso, el cambio completo de una toma domiciliaria por otro tipo de material más adecuado al lugar. Finalmente el costo se traducirá en un beneficio ya que no se debe perder de vista que este gasto importante de agua que se pierde, es agua que fue captada (por ejemplo en la Cd. de México tiene fuentes de suministro alejadas a más de 100 km de distancia), bombeada, conducida, almacenada, tratada y que estaba cercana de sus consumidores.

La inversión para los programas de detección y reparación de fugas en tomas domiciliarias, no trae a corto plazo beneficios inmediatos. Sin embargo, hay ahorros económicos importantes a largo plazo, ya que, el reemplazo de una toma domiciliaria tiene una mayor vida útil, lapso en el cual se está garantizando un buen funcionamiento de la red de distribución de agua potable.

Entre los beneficios se encuentra el desarrollo normal de actividades productivas y de salud de los habitantes de la ciudad, que evita sus enfermedades e inconvenientes para sus labores.

BIBLIOGRAFÍA

1. Fuentes Mariles, O. y Sánchez Bribiesca, J.L., "Método para la detección de fugas en tomas domiciliarias". Departamento General de Construcción y Operación Hidráulica-Instituto de Ingeniería, UNAM. Informe final, México, agosto de 1997.
2. Enriquez Zapata, S., Vázquez Luján, A. y Ochoa Alejo, L. H., Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial, Gerencia de Normas Técnicas, Comisión Nacional del Agua. "Control de fugas en sistemas de distribución". Libro II, segunda sección, tema 4. México 1994.
3. Vázquez Luján, A., y Rodríguez Varela, J.M. Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial, Gerencia de Normas Técnicas, Comisión Nacional del Agua. "Control de fugas en sistemas de distribución". Libro II, primera sección sección, tema 5. México 1994.

4. Fuentes Mariles, O. y Sánchez Bribiesca, J.L., "Método para la detección de fugas en redes de distribución de agua potable". Departamento General de Construcción y Operación Hidráulica-Instituto de Ingeniería. Informe final, México, diciembre de 1996.
5. Vázquez Luján, Armando., "Fugas en tomas domiciliarias". Tesis presentada en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM. México 1995.
6. Sotelo Ávila, Gilberto, "Hidráulica General". Vol. I, Fundamentos. Editorial Limusa, México 1987.
7. Subdirección General Técnica, Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas, Subgerencia de Normalización . Comisión Nacional del Agua. Norma Oficial Mexicana NOM-002-CNA-1995, "Toma domiciliaria para abastecimiento de agua potable-Especificaciones y métodos de prueba", México 1996.
8. Arreguín Cortés, Felipe I., Ochoa Alejo, L. H. y Fernández Esparza, A. "Evaluación de pérdidas en redes de distribución de agua potable". Revista TLALOC, Organo informativo de la Asociación Mexicana de Hidráulica, AMH, Vol. 10. México, septiembre-diciembre 1997.
9. Revista TLALOC, Organo informativo de la Asociación Mexicana de Hidráulica, AMH. "Mesa redonda: Control de fugas en redes de agua potable". Vol. 12. México, mayo-agosto 1998.
10. Instituto de Ingeniería, UNAM, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica y Hidro Consultoría y Construcciones S.A. de C.V. "Estudio de campo con el apoyo del método para detectar fugas en tomas domiciliarias desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM", Segundo informe parcial, México, septiembre 1998.

11. White M., Frank , “Mecánica de Fluidos”, Editorial McGraw Hill, México 1988.
12. Shuldener, L. Henry and Fullman, B. James, “Problemas de suministro de agua y plomería en edificios”. Editorial Limusa, México 1985.
13. Hueb, José Augusto, “Control de fugas en los sistemas de distribución de agua potable”. Programa de protección de la salud ambiental, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, CEPIS. Lima-Perú, febrero de 1985.
14. American Water Works Association. “Water Audits and Leak Detection”, AWWA Manual M36. USA 1994.
15. Valdez , Enrique C. “Abastecimiento de agua potable”, Vol. I, División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica, Departamento de Ingeniería Sanitaria, UNAM. México 1990.
16. López Alegría, Pedro, “Abastecimiento de agua potable y disposición y eliminación de excretas”, Instituto Politécnico Nacional, México 1994.
17. Arteaga Tovar, Eduardo, “Hidráulica Elemental”, Universidad Autónoma de Chapingo, México 1993.
18. Guaycochea, Darío. “Flujo en tubos a presión”, Universidad Autónoma Metropolitana, México 1994.
19. Hernández Muñoz, Aurelio, “Abastecimiento y distribución de agua”. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puentes, España 1987.

20. Haaland, S.E. "Simple and Explicit Formulas for the Friction Factor in Turbulent Pipe Flow", *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME*, Vol.105, March 1983.
21. Ochoa Alejo, L.H. y Bourguett Ortiz V. J. "Memorias Técnicas , IV Curso Internacional. Reducción Integral de perdidas de agua potable", Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, SEMARNAP, Gobierno del estado de Guanajuato. Guanajuato México 1998.

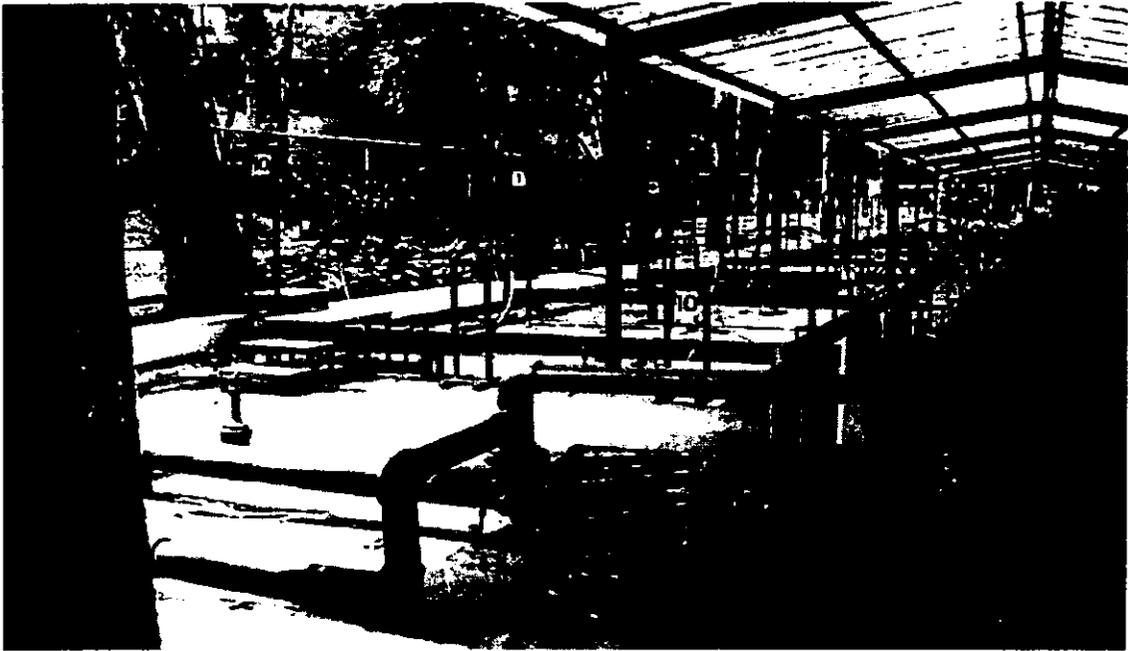
FALTA PAGINA

No. **108**

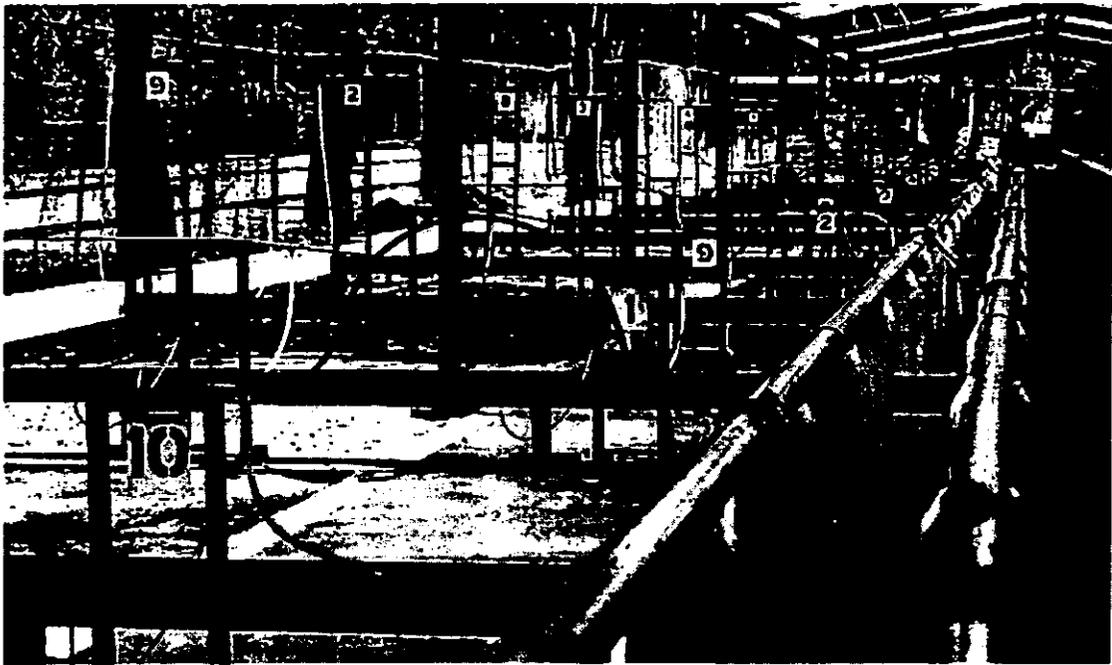
ÁLBUM FOTOGRÁFICO DEL DISPOSITIVO FÍSICO PARA SIMULAR FUGAS EN TOMAS DOMICILIARIAS



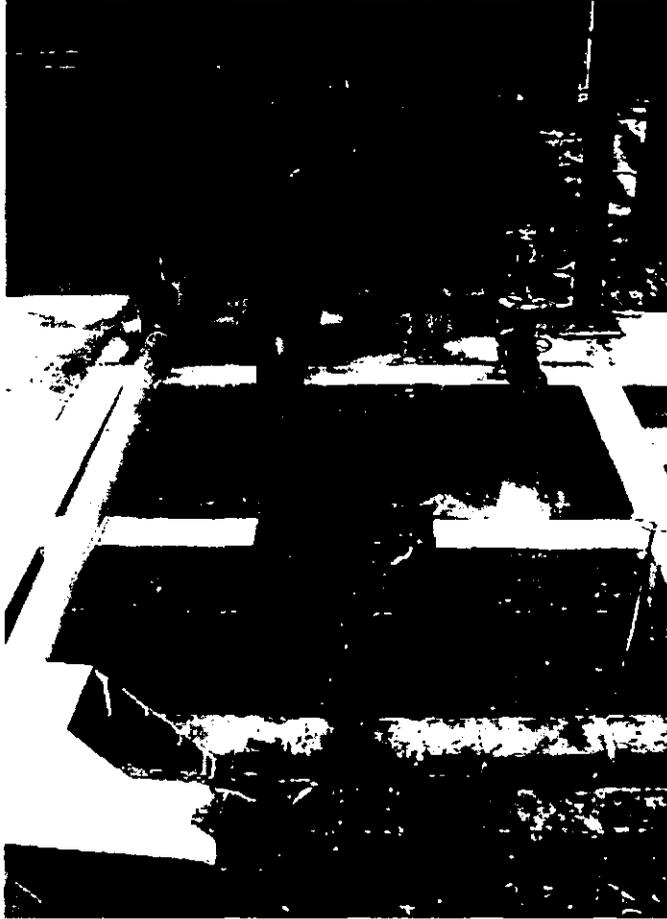
Vista general del dispositivo físico para simular fugas



Bomba de alimentación de agua a la red



Tubería principal con las tomas domiciliarias del dispositivo físico



Sistema de alimentación y recirculación



Tubería principal del dispositivo físico