

01162



**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**  
**Facultad de Ingeniería**

19  
20j

**FUGAS EN TOMAS DOMICILIARIAS**

**ARMANDO VAZQUEZ LUJAN**

**TESIS**

**PRESENTADA A LA DIVISION DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO DE LA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**DE LA**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**COMO REQUISITO PARA OBTENER**

**EL GRADO DE**

**MAESTRO EN INGENIERIA**

**HIDRAULICA**

**CIUDAD UNIVERSITARIA**

**1995**

**FALLA DE ORIGEN**



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

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

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

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

## DEDICATORIA

A Martha, mi esposa  
A Martha María, mi hija  
A Teodoro Vázquez y María Luján, mis padres  
A mis hermanos  
A mis amigos

Agradezco al DR. FELIPE I. ARREGUIN CORTES, director de este trabajo y quién me brindó la oportunidad y confianza de desarrollar proyectos de investigación en hidráulica.

A mis sinodales: DR. GABRIEL ECHAVEZ ALDAPE, DR. ROLANDO SPRINGALL GALINDO, DR. CARLOS ESCALANTE SANDOVAL Y DR. GUSTAVO A. PAZ SOLDAN, por la revisión y comentarios a este trabajo.

A la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, por la formación recibida.

Al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, la Comisión Nacional del Agua y la Universidad Autónoma de Zacatecas, por el apoyo brindado.

## CONTENIDO:

	Pag.
<b>INTRODUCCION</b>	
<b>CAPITULO 1. Descripción de una toma domiciliaria y sus componentes.</b> . . . . .	<b>1</b>
1.1 Ramal . . . . .	1
1.2 Cuadro . . . . .	3
<b>CAPITULO 2. Fugas en tomas domiciliarias.</b> . . . . .	<b>7</b>
2.1 Clasificación de las fugas . . . . .	7
2.2 Tipos de fallas . . . . .	8
2.3 Causas de las fallas . . . . .	8
2.4 Técnicas de detección de fugas . . . . .	16
<b>CAPITULO 3. Mediciones experimentales.</b> . . . . .	<b>18</b>
3.1 Planteamiento del problema . . . . .	16
3.2 Campo experimental para tomas domiciliarias . . . . .	28
3.3 Experimento . . . . .	37
3.4 Análisis de los resultados . . . . .	45
3.5 Mediciones en campo . . . . .	51
<b>CAPITULO 4. Selección de Tomas domiciliarias.</b> . . . . .	<b>91</b>
4.1 Criterios de selección para tomas domiciliarias . . . . .	91
4.2 Alternativas de diseño . . . . .	93
<b>CAPITULO 5. Instalación de tomas domiciliarias.</b> . . . . .	<b>95</b>
5.1 Etapas de construcción . . . . .	95
5.2 Procedimientos de instalación de tomas domiciliarias . . . . .	99
<b>CAPITULO 6. Rehabilitación en tomas domiciliarias.</b> . . . . .	<b>104</b>
6.1 Criterios . . . . .	104
6.2 Técnicas de sustitución de tomas domiciliarias . . . . .	109
<b>CAPITULO 7. Conclusiones y recomendaciones.</b> . . . . .	<b>112</b>

## INDICE DE LAMINAS

1. Toma domiciliaria	5
2. Ubicación y frecuencia de fallas en tomas domiciliarias	8
3. Distrito hidrométrico	16
4. Factores asociados con la presencia de fugas en tomas domiciliarias	19
5. Relación porcentaje de falla-tipo de suelo	20
6. Edad de la instalación-porcentaje de fallas	22
7. Edad de la instalación-porcentaje de fallas	23
8. Diámetro de la tubería- porcentaje de falla	24
9. Mes-porcentaje de fallas	25
10. Año-gasto de fuga	26
11. Tendencia de fugas por tipo de material	26
12. Profundidad de la instalación-porcentaje de fallas	27
13. Campo experimental de tomas domiciliarias	30
14. Tipo de suelo arenoso (resultados de laboratorio)	40
15. Tipo de suelo arcilloso (resultados de laboratorio)	42
16. Tipo de suelo arenoso-arcilloso (resultados de laboratorio)	44
17. Presión-gasto de fuga por tipo de suelo (resultados de laboratorio)	49
18. Presión-gasto de fuga para la ciudad de Tuxtla, Gtz., Chis.	54
19. Presión-gasto de fuga para la ciudad de Tapachua, Chis.	55
20. Presión-gasto de fuga para la ciudad de Durango, Dgo.	56
21. Presión-gasto de fuga para la ciudad de Xalapa, Ver.	57
22. Presión-gasto de fuga para la ciudad de Veracruz, Ver.	58
23. Presión-gasto de fuga para la ciudad de Campeche, Camp.	59
24. Presión-gasto de fuga para la ciudad de Los Cabos, B.C.	60
25. Presión-gasto de fuga para la ciudad de Coatzacoalcos, Ver.	61
26. Presión-gasto de fuga para la ciudad de Cuernavaca, Mor.	62
27. Presión-gasto de fuga para la ciudad de Cd. Juárez, Chih.	63
28. Presión-gasto de fuga para la ciudad de Guaymas, Son.	64
29. Presión-gasto de fuga para la ciudad de Chihuahua, Chih.	65
30. Presión-gasto de fuga para la ciudad de Villahermosa, Tab.	66
31. Presión-gasto de fuga para la ciudad de Oaxaca, Oax.	67
32. Presión-gasto de fuga para la ciudad de Querétaro, Qro.	68
33. Presión-gasto de fuga para la ciudad de Constitución, B.C.	69
34. Presión-gasto de fuga para la ciudad de Zacatecas, Znc.	70
35. Presión-gasto de fuga para la ciudad de León, Gto.	71
36. Gasto de fuga-tipo de suelo arenoso (mediciones en campo)	76
37. Gasto de fuga-tipo de suelo arcilloso (mediciones en campo)	78
38. Gasto de fuga-tipo de suelo arenoso-arcilloso (mediciones en campo)	80
39. Presión-gasto de fuga por tipo de suelo, con la ecuación de ajuste (mediciones en campo)	83
40. Presión-gasto de fuga por tipo de suelo, con la ecuación de los orificios (mediciones en campo)	86
41. Tomas domiciliarias tipo	91
42. Plantilla	97

43. Perforación de la tubería	97
44. Relleno de la zanja	97
45. Derivación directa	91
46. Derivación con abrazadera	91
47. Método de tensión para sustitución de tomas domiciliarias	110
48. Mediciones en campo y resultados de laboratorio, para el tipo de suelo arenoso	113
49. Mediciones en campo y resultados de laboratorio, para el tipo de suelo arcilloso	114
50. Mediciones en campo y resultados de laboratorio, para el tipo de suelo arenoso-arcilloso	115

## INDICE DE TABLAS

1. Componentes de una toma domiciliaria . . . . .	6
2. Relación entre tipo de suelo y resistividad . . . . .	9
3. Causas estructurales de falla . . . . .	14
4. Selección de variables . . . . .	37
5. Tipo de suelo arenoso (resultados de laboratorio) . . . . .	39
6. Tipo de suelo arcilloso (resultados de laboratorio) . . . . .	41
7. Tipo de suelo arenoso-arcilloso (resultados de laboratorio) . . . . .	43
8. Resultados generales de las pruebas en laboratorio . . . . .	47
9. Presión-gasto de fuga por tipo de suelo (resultados de laboratorio) . . . . .	48
10. Tipo de suelo característico de diferentes ciudades del país . . . . .	51
11. Porcentaje de ocurrencia de fugas por tipo de material . . . . .	52
12. Ecuación de ajuste para calcular el gasto de fuga para diferentes ciudades (mediciones en campo) . . . . .	72
13. Ecuación del orificio para calcular el gasto de fuga para diferentes ciudades (mediciones en campo) . . . . .	73
14. Cálculo del gasto de fuga para suelo arenoso (mediciones en campo) . . . . .	75
15. Cálculo del gasto de fuga para suelo arcilloso (mediciones en campo) . . . . .	77
16. Cálculo del gasto de fuga para suelo arenoso-arcilloso (mediciones en campo) . . . . .	79
17. Ecuación de ajuste para calcular el gasto de fuga para diferentes tipos de suelo (mediciones en campo) . . . . .	81
18. Ecuación de los orificios para calcular el gasto de fuga, para diferentes tipos de suelo (mediciones en campo) . . . . .	81
19. Presión-gasto de fuga por tipo de suelo con la ecuación de ajuste (mediciones en campo) . . . . .	82
20. Presión-gasto de fuga por tipo de suelo con la ecuación de los orificios (mediciones en campo) . . . . .	85
21. Análisis de varianza . . . . .	89
22. Criterios de selección para el tipo de material de la toma . . . . .	93
23. Componentes de una toma domiciliaria para zona urbana . . . . .	93
24. Componentes de una toma domiciliaria para zona rural . . . . .	94
25. Dimensiones recomendadas para zanjas . . . . .	96
26. Diámetros máximos recomendados de derivación . . . . .	100
27. Instalación de toma domiciliaria con material de plástico . . . . .	101
28. Instalación de toma domiciliaria de Fo.Go. . . . .	102
29. Instalación de toma domiciliaria de cobre . . . . .	103
30. Tipo de falla, causas, medidas preventivas y recomendaciones en tomas domiciliarias . . . . .	105
31. Criterios de reemplazo para tuberías pequeñas . . . . .	108
32. Ventajas y desventajas del método de sustitución por tensión . . . . .	110
33. Ventajas y desventajas del método de sustitución por percusión . . . . .	111
34. Evaluación de técnicas de sustitución . . . . .	111



## INDICE DE FOTOGRAFIAS

1. Construcción de los módulos del campo experimental para tomas domiciliarias . . .	31
2. Construcción de los módulos del campo experimental para tomas domiciliarias . . .	31
3. Construcción de los módulos del campo experimental para tomas domiciliarias . . .	32
4. Construcción de los módulos del campo experimental para tomas domiciliarias . . .	32
5. Construcción de los módulos del campo experimental para tomas domiciliarias . . .	33
6. Construcción de los módulos del campo experimental para tomas domiciliarias . . .	33
7. Abrazadera de PVC, tubería de cobre, tipo de suelo arenoso-arcilloso . . . . .	34
8. Abrazadera de Fo.Fo., tubería de cobre, tipo de suelo arenoso . . . . .	34
9. Abrazadera de PVC, tubería de PEAD, tipo de suelo arcilloso . . . . .	35
10. Medidores, manómetros y válvulas de control . . . . .	35
11. Instalación de la alimentación al módulo, manómetros y válvulas de control . . .	36
12. Canal de descarga, manómetros y válvulas de control . . . . .	36

## INTRODUCCION

Uno de los factores que más influye en la baja eficiencia de los sistemas de distribución de agua potable, son las fugas de agua, se estima que en México en promedio se pierde el 38 % del agua que se suministra, lo cual indica, que la solución del problema es de primordial importancia.

Estudios de evaluación de pérdidas elaborados en diferentes ciudades del país, han permitido concluir que el problema principal de fugas se presenta en tomas domiciliarias sin embargo, hasta el momento no se ha estudiado lo suficiente, la interrelación que existe entre los factores asociados con la presencia de fugas en tomas domiciliarias.

En el presente trabajo se realiza un análisis de la relación que existe entre los factores que intervienen en la presencia de fugas en tomas domiciliarias. Se presentan recomendaciones, procedimientos y criterios de instalación y rehabilitación para tomas domiciliarias.

## CAPITULO 1. DESCRIPCIÓN DE UNA TOMA DOMICILIARIA Y SUS COMPONENTES

### *Toma domiciliaria*

Es la instalación que se deriva de la tubería de la red de distribución de agua y termina dentro del predio del usuario, constituida por dos elementos básicos: el ramal y el cuadro (lámina 1).

#### 1.1 *Ramal*

Es la parte de la toma domiciliaria cuya función es la conducción del agua de la tubería de la red de distribución 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. Para su instalación, conexión y operación, esta parte de la toma domiciliaria está conformada por las piezas que a continuación se describen:

##### 1.1.1 *Abrazadera*

La abrazadera es la parte de la toma domiciliaria que hace hermética la perforación de la tubería de la red y mediante una salida llamada derivación, permite la interconexión con la tubería del ramal, ver lámina y tabla 1.

Corresponde a la pieza que se coloca en la tubería de distribución, proporcionando el medio de sujeción adecuado para recibir al insertor (llave de inserción o adaptador).

Su selección depende del tipo de material empleado en la red de distribución y en el ramal. Se emplean abrazaderas en redes de policloruro de vinilo (PVC), asbestocemento y fierro fundido (Fo.Fo), para el caso de redes de polietileno de alta densidad (PEAD) se utiliza silletas con sistema de unión por termofusión.

Los materiales más utilizados en las abrazaderas son el fierro fundido (Fo.Fo.) y el PVC; también se cuenta con abrazaderas de bronce y acero inoxidable.

##### 1.1.2. *Insertor*

Es la pieza que permite unir la abrazadera con la tubería del ramal, roscándose en ésta y con salidas adaptables para diferentes tipos de tubería flexibles; se fabrican en bronce y en PVC, ver lámina y tabla 1.

La válvula de inserción 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. El requisito más importante para la instalación de esta llave es que su cuerda sea del mismo tipo que la de la abrazadera.

Quando se instale tubería de PEAD en el ramal, no debe utilizarse insertores con espiga ostriada para su conexión; ya que el polietileno no actúa como elemento soldador. Para estos casos se debe instalar un conector de PVC o bronce que funcione a base del sistema de compresión.

#### 1.1.3. 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" durante su instalación (lámina 1). El material que se utiliza comúnmente [1], es cobre flexible (tipo " L ") o PEAD.

Quando se realice una interconexión de diferentes materiales metálicos, es necesario considerar las observaciones que se hacen sobre corrosión en el capítulo 2.

#### 1.1.4. Llave de banqueta

Es un elemento fabricado generalmente con bronce que permite el corte del flujo o cierre de la toma, para realizar reparaciones o limitar el servicio, sin necesidad de excavar el terreno del lugar en donde se encuentra la toma, ya que se tiene acceso desde el exterior a través de la caja de banqueta, ver lámina 1.

Sus elementos de conexión varían dependiendo de los diferentes tipos de tubería que se utilicen en el ramal de la toma. La unión de una llave de banqueta con la tubería de PEAD se realiza mediante un conector que funciona a base del sistema de compresión.

#### 1.1.5. 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. Su instalación es opcional ya que se puede continuar con la tubería flexible, ver lámina 1.

#### 1.1.6. Codo inferior del cuadro

Tiene como función unir la tubería del ramal con el cuadro de la toma, dependiendo de los materiales de la toma, el codo puede ser de Fo.Go, cobre o bronce, ver lámina 1.

#### 1.1.7. Conectores y niples

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: el insertor, la llave de banqueta y del codo que une el ramal con el cuadro, ver lámina 1.

## 1.2 Cuadro

Es la parte de la toma domiciliar que permite la instalación del: 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 "; lámina 1).

Las dimensiones promedio son: 0.60 m de altura a partir del nivel de piso, que permite tomar las lecturas del medidor y 0.50 m de largo aproximadamente para colocar el medidor y los accesorios que se requieran. La geometría y/o dimensiones pueden modificarse dependiendo de las condiciones que se presentan para su instalación.

El cuadro está formado por las partes siguientes:

### 1.2.1. Tubos rígidos

Colocados en posición horizontal y vertical de Fo.Go. o cobre tipo "M".

### 1.2.2. Codos de bronce, cobre o Fo.Go.

### 1.2.3. Medidor

Su selección depende básicamente de tres aspectos: calidad del agua, régimen de operación del sistema y del consumo por registrar.

### 1.2.4. Adaptadores

Sirven para ajustar cuando se requiera las dimensiones del cuadro; o de conexión temporal cuando la instalación del medidor se posponga.

### 1.2.5. Válvula de globo

Sirve para interrumpir el flujo de agua cuando se efectúa una reparación en el cuadro de la toma, se instala antes del medidor si el cuadro no cuenta con llave de banquetta, en caso contrario se instala después del mismo.

### 1.2.6. "Tee"

Se utiliza para derivar el agua hacia la llave de manguera.

### 1.2.7. Llave de manguera

Es la primera llave de uso para el propietario del inmueble además sirve para tomar muestras de agua para verificar su calidad, probar el funcionamiento del medidor, medir la presión disponible en la toma y para los usos que el propietario decida.

### **1.2.8. 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.

En la lámina y tabla 1, se presentan los componentes de una toma domiciliaria, considerando diferentes tipos de materiales, así como su especificación y la norma que regula su fabricación.

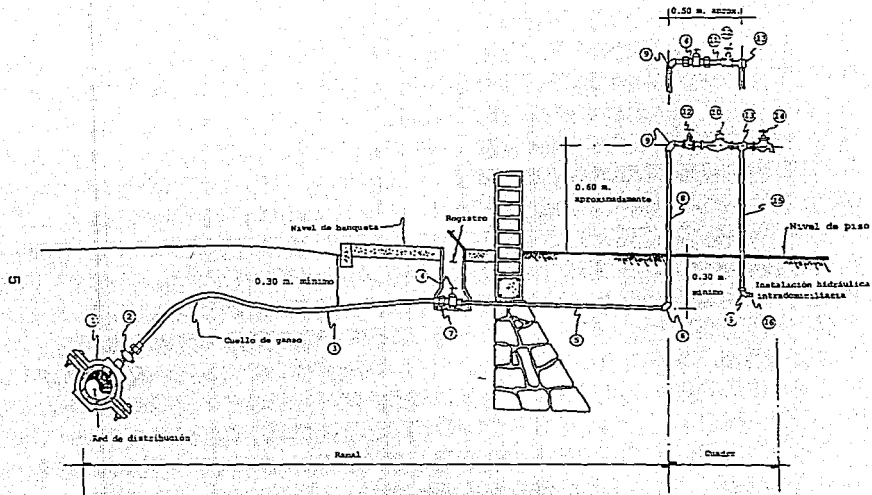


Lámina 1. Toma domiciliaria, ver tabla 1 donde se relacionan los componentes del ramal y del medidor.

Tabla 1. Componentes de una toma domiciliar para agua potable [1].

No	ELEMENTO	MATERIAL	ESPECIFICACIÓN	NORMA
<b>RAMAL</b>				
1	ABRAZADERA	BRONCE Fo.Fo. PVC PEAD	ABRAZADERA PARA TUBO DE A-C ABRAZADERA PARA TUBO DE A-C ABRAZADERA PARA TUBO DE PVC SILETA PARA TUBO DE PEAD	ASTM-B-30 NMX-B-008 NMX-E-191 .....
2	INSERTOR	BRONCE BRONCE PVC PVC	VÁLVULA DE INSERCIÓN CON CUERDA TIPO AWWA VÁLVULA DE INSERCIÓN FLARE O COMPRESIÓN CON EMPAQUE DE BUNA "N" ADAPTADOR DE INSERCIÓN CON CUERDA NPT VÁLVULA DE INSERCIÓN CON CUERDA TIPO NPT	ASTM-B-30 ASTM-B-30 NMX-E-192 NMX-E-207
3	TUBO FLEXIBLE	COBRE PEAD	FLEXIBLE (TIPO "L")	NMX-W-18 NMX-E-146
4	VÁLVULA DE BANQUETA	BRONCE PVC	PARA COBRE DE PEAD A Fo.Go. PARA PEAD	ASTM-B-30 ASTM-B-30 NMX-E-207
5	TUBO RÍGIDO	COBRE Fo.Go.	RÍGIDO (TIPO "M") CON CUERDA EXTERIOR	NMX-W-18 NMX-B-177
6	CODO INFERIOR DEL VERTICAL	BRONCE COBRE Fo.Go.	SOLDABLE SOLDABLE CON CUERDA INTERIOR	ASTM-B-30 NMX-W-101 NMX-B-177
7	CONECTORES	BRONCE PLÁSTICO	DE COMPRESIÓN DE COMPRESIÓN	NMX-E-192
<b>CUADRO</b>				
4	VÁLVULA DE BANQUETA	BRONCE PVC	PARA COBRE DE PEAD A Fo.Go. PARA PEAD	ASTM-B-30 ASTM-B-30 NMX-E-207
8,11 Y 16	TUBO RÍGIDO DEL CUADRO	COBRE Fo.Go.	RÍGIDO (TIPO "M") CON CUERDA EXTERIOR	NMX-W-18 NMX-B-177
9	CODOS	COBRE Fo.Go.	SOLDABLE CUERDA INTERIOR	NMX-W-101 NMX-B-214
10	MEDIDOR			NOM 012-SCFI
17	VÁLVULA DE GLOBO	BRONCE	SOLDABLE CON CUERDA INTERIOR	ASTM-B-30 ASTM-B-30
13	TEE	COBRE Fo.Go.	COBRE A COBRE A CUERDA INTERIOR CON CUERDA INTERIOR	NMX-W-101 NMX-B-214
14	LLAVE DE MANGUERA	BRONCE	CON CUERDA EXTERIOR	ASTM-B-30
10	TAPÓN	COBRE Fo.Go.	HEMIRA CUERDA EXTERIOR	NMX-W-101 NMX-B-214

NOTAS: La numeración de los elementos corresponde a la figura 1.

ASTM: American Society for Testing and Materials

NMX: Norma Mexicana

NOM: Norma Oficial Mexicana



## CAPITULO 2. FUGAS EN TOMAS DOMICILIARIAS

### 2.1 Clasificación de las fugas

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

Las fugas se clasifican considerando su magnitud, o bien, sus características cualitativas. A continuación se indican algunas empleadas por diversos autores:

Rago [2], clasifica las fugas de acuerdo con su magnitud en:

CLASE	MAGNITUD (l/s)
A	gotero - 0.029
B	0.03 - 0.37
C	0.38 - 1.26
D	1.27 o mayor

Zanden y Cnossen [2], las dividen en dos grupos:

- Fugas visibles, que son aquellas que afloran a la superficie.
- Fugas no visibles, que son las que no afloran a la superficie y que pueden permanecer durante un intervalo de tiempo indefinido sin que se detecten.

Giles [2], propone la siguiente clasificación:

**Categoría 1:** fugas muy pequeñas, se presentan en válvulas, juntas o uniones en tuberías principales o de servicio y son prácticamente exudaciones o goteo.

**Categoría 2:** fugas pequeñas que en conjunto contribuyen en un alto porcentaje a la pérdida total por fugas, pero que no lo aparentan, hasta que se lleva a cabo una inspección y evaluación detallada y algunas veces, mediante el uso de técnicas más sofisticadas como: presión diferencial, distritos hidrométricos, y sondeo con equipos acústicos. Son fugas que pueden ser detectadas solo mediante programas de detección y reparación.

En la lámina 2, se muestra la ubicación y frecuencia con que ocurren las fugas en las tomas domiciliarias [3].

**Categoría 3:** fugas grandes, se evidencian por varios mecanismos, tales como hundimiento en el pavimento, flujo de agua visible, ruido en las casas, baja presión o falta de agua.

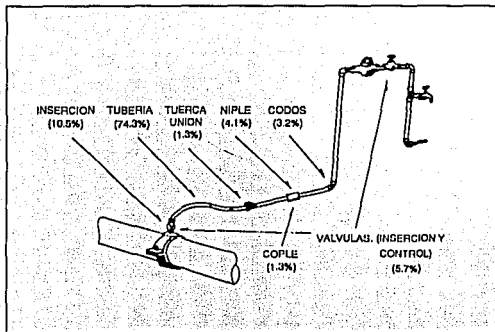


Lámina 2. Ubicación y frecuencia de fallas en tomas domiciliarias [3].

## 2.2 Tipos de fallas

En tomas domiciliarias [4] los tipos de falla son: rajadura, perforación, corte o piezas flojas. El primer tipo de falla se asocia a una mala calidad de materiales empleados o instalación deficiente; el segundo y tercer caso a factores externos y el cuarto a una fabricación o instalación imperfecta.

## 2.3 Causas de las fallas

En algunos casos, la identificación de las fugas, no es difícil, sin embargo, comprender la naturaleza de su origen, puede no ser tan fácil. La determinación y eliminación de las causas que se asocian con la presencia de fugas, es importante para prevenir que el problema se presente de nueva cuenta. Se cita a continuación algunas de las causas más relevantes, que inciden en la presencia de fugas en sistemas de distribución de agua.

### 2.3.1 Alta presión

La presión interna del agua provoca el desarrollo de esfuerzos tangenciales y longitudinales en tuberías, los cuales pueden dar origen a los tipos de falla de rajadura y de separación de componentes [5].

Cuando se realiza un cierre brusco de válvulas se presentan sobrepresiones en las instalaciones. Se han realizado estudios experimentales [6] para evaluar su efecto en

tomas domiciliarias, obteniendo que la presión que se presenta en la inserción de la toma, es mayor en un 50 a un 60% que la que se registra en el cuadro de la misma.

Cuando se realiza una mala instalación en tomas con componentes metálicos y con un sistema de unión que hace a la instalación rígida (soldadura), se presentan fugas en las uniones por el desarrollo de esfuerzos tangenciales, producto del incremento de la presión hidráulica interna [6]. En tomas a base de componentes de material plástico, cuando se presentan sobrepresiones, el ramal se expande y contrae, por el desarrollo de esfuerzos tangenciales que provocan la presencia de fugas en las uniones del ramal con la abrazadera o con el cuadro, cuando estas no se realizaron adecuadamente [6].

### 2.3.2 Corrosión externa

En la mayoría de los casos [7] la corrosión externa en tomas domiciliarias, ocurre en suelo con alta conductividad eléctrica (baja resistividad eléctrica), debido a que éste actúa como un medio electrolítico (intercambio de electrones). Una contaminación química no uniforme o una aireación diferencial (áreas de alto y bajo contenido de oxígeno) del suelo pueden incrementar el problema.

El procedimiento para evaluar si un suelo es agresivo [8], está basado en considerar cinco parámetros básicos para una muestra de análisis: resistividad, potencial de hidrógeno (pH), potencial Redox (cantidad de oxígeno que contiene la muestra de suelo), sulfatos y contenido de humedad. Para determinar si un suelo es agresivo, cada punto de análisis se evalúa y registra conforme a su contribución a la corrosión externa de las tomas domiciliarias; asignando a cada parámetro una puntuación, la cual se suma y con el total de la misma, se determina si el suelo es agresivo (corrosivo) para tomas a base de componentes metálicos. El parámetro más importante es la resistividad, la cual medida en ohm-centímetro ( $\Omega$ -cm), representa el nivel de resistencia eléctrica a través de cada centímetro cúbico de suelo de un volumen determinado. Se han realizado estudios que relacionan el tipo de suelo y la resistividad, con la presencia de corrosión en tuberías como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Relación entre tipo de suelo y resistividad [9].

Clase de suelo	Resistencia a la corrosión	Resistividad $\Omega$ -cm
Arenas o arenas limosas	excelente	10000 - 6000
Suelo franco con arena	bueno	6000 - 4500
Suelo franco con arcillas	regular	4500 - 1000
Arcillas y suelo orgánico	mala	1000 - 0

La protección contra la corrosión externa en tomas tales como: protección catódica, forrar la tubería del ramal con materiales plásticos y la selección del material de rollo son medidas preventivas que desde la etapa del diseño deben considerarse [1], aunque siempre será mejor seleccionar adecuadamente el material de la toma.

Cuando existe contacto entre dos tuberías o componentes de una toma domiciliaria de diferente tipo de metal, en un medio electrolítico (suelo), se presenta corrosión [5]. Aunque el fenómeno de corrosión generalmente es un proceso de desarrollo lento (30 años, [5, 11, 12]), existen reportes de diversos estudios realizados en algunas ciudades de Europa y América, en los que la corrosión es una de las principales causas de fallas en tuberías de redes de distribución [5, 13].

A continuación se presentan algunos de los factores [5] que intervienen en el desarrollo de la corrosión en tomas domiciliarias.

a) Presencia de agua en el suelo

a.1) Una fuga aumenta la humedad del suelo y reduce su resistividad, por lo que se incrementa los niveles de corrosión externa en tuberías metálicas.

a.2) Un aumento del nivel freático puede provocar que el suelo que circunda una tubería se sature y reducir su resistividad por la presencia de sulfatos y cloruros. Tiene fuerte impacto en el incremento de los niveles de corrosión externa en tuberías metálicas.

a.3) La intrusión de mareas pueden ser un problema para las comunidades costeras con tuberías instaladas cerca de la playa. La saturación del suelo y el incremento del nivel de cloruros (por la presencia de sales), aumenta los niveles de corrosión externa.

a.4) Las tuberías pueden desplazarse, como resultado de la saturación del suelo y la socavación del mismo, por causa de una fuga de agua.

b) Actividades de construcción

b.1) Estas actividades pueden provocar dislocación o roturas de la tubería del ramal de la toma, produciéndose fugas que hacen al suelo potencialmente corrosivo.

b.2) Las instalaciones abandonadas pero no suspendidas pueden gotear eventualmente, aún cuando la llave esté cerrada. Las fugas en estos casos pueden incrementar el nivel de corrosión como se indica en a.1.

b.3) Los pavimentos con baches y una escasa profundidad de la instalación de

la toma, pueden ser un problema, ya que las cargas debidas al tránsito vehicular, pueden provocar dislocación o rotura de la tubería del ramal presentándose fugas, lo que incrementa la humedad del suelo, haciéndose éste potencialmente corrosivo.

b.4) Las fugas pueden socavar la plantilla sobre la que descansa el ramal de la toma, si se presenta tal situación, éste queda sin apoyo uniforme, y debido al efecto de las cargas externas (relleno, tránsito vehicular) pueden presentarse fallas en sus uniones.

b.5) La corrosión galvánica se presenta cuando una conexión se realiza con diferentes tipos de componentes metálicos y no se coloca entre ellos alguna protección que evite su contacto directo.

#### c) Factores ambientales

- La expansión o contracción del suelo (especialmente los arcillosos) por una variación en su contenido de humedad, ocasiona el desarrollo de esfuerzos cortantes, los cuales pueden provocar fugas en la toma.

- El congelamiento del agua dentro del ramal, provoca un incremento de los esfuerzos internos sobre la tubería, lo cual puede provocar estallidos o grietas en la misma y puede provocar fugas (ver a.1).

#### d) Fenómenos naturales

- El movimiento del suelo es particularmente un problema en regiones donde hay fallas geológicas o predominan los temblores, ya que provocan roturas y dislocación en las tomas provocando fugas (ver a.1).

#### e) Operación y mantenimiento de la red

- Cambios repentinos de presión en un sistema de agua (cierro brusco de válvulas o paros y arranques de equipos de bombeo), contribuyen al desarrollo de esfuerzos en la tubería del ramal, los cuales pueden ocasionar fugas.

- La extensión de fugas en tomas en un sistema de distribución, está en función del deterioro y mantenimiento de las mismas. Los programas de control de fugas ayudan a prevenir la ocurrencia de fugas.

- El incremento de los esfuerzos tangenciales y longitudinales de presión en una toma, es consecuencia de una inadecuada operación de las válvulas, lo cual puede provocar rotura en la tubería del ramal de una toma y presentarse fugas.

## f) Pérdidas de corriente directa

- La corrosión electrolítica es resultado de una pérdida de corriente directa, la cual, se transmite a través del suelo buscando una ruta de mínima resistencia. Las estructuras metálicas subterráneas como son las instalaciones para agua potable, sirven de ruta-camino para la corriente; una corrosión externa severa ocurre en el punto de la tubería donde se descarga la corriente. Dentro de las fuentes de pérdida de corriente, se incluyen: líneas de transmisión eléctrica, sistemas de tierra de las subestaciones, talleres de soldadura.

### 2.3.3 Cargas externas

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

La carga total del relleno sobre una tubería depende del ancho de la zanja y de la profundidad a que se encuentre la clave de la tubería. El peso del relleno varía con el contenido de humedad y el tipo de suelo.

La carga de vehicular ejercida sobre una tubería varía con la superficie de cobertura y tipo de pavimento, es estimada por ecuaciones [14], que aplican factores de reducción a la carga total (peso por impacto). Los factores de reducción para pavimentos rígidos son mayores que para pavimentos flexibles.

Las tuberías antiguas, no están diseñadas para soportar las cargas externas producidas por el tránsito vehicular moderno, son susceptibles a fracturarse, especialmente aquellas con uniones rígidas [14]. Las tuberías de instalación reciente puede sufrir daños similares si la profundidad de colocación y compactación del relleno no es adecuado.

La selección del lugar de instalación de las tomas en las calles, zanjas con la profundidad y tipo de plantilla adecuado, así como una buena compactación del relleno disminuye el efecto del tránsito vehicular.

### 2.3.4 Movimiento del suelo

Es una causa conocida de fugas [1,4,5,12,14,15], especialmente en suelo arcillosos que se expanden y contraen de acuerdo con el contenido de humedad. Un sismo afecta las instalaciones provocando fallas, en mayor o menor grado dependiendo de su intensidad.

### 2.3.5 Mala calidad de materiales y accesorios

Se refleja en una vida útil corta de los materiales, reparaciones defectuosas y frecuentes, que implican a su vez desperdicio de agua [2,14].

La mala calidad del material puede ser causa de algunos problemas incluyendo excesivas fallas y la presencia de incrustación en la tubería. El reemplazo en el caso de materiales de mala calidad es usualmente la única solución al problema.

### 2.3.6 Mala calidad de la mano de obra

Son trabajos defectuosos que se caracterizan por tener costos elevados y pérdida de tiempo en su ejecución; por lo que es indispensable la capacitación del personal en técnicas de instalación y rehabilitación eficientes, suministro de equipo y herramientas necesarias. Así como una supervisión eficaz de los trabajos [2,16].

### 2.3.7 Golpe de ariete

Los resultados de este efecto son fallas del tipo de rotura longitudinal en las tuberías [19], producto de altas presiones que provocan vibraciones en el sistema. Debe capacitarse al personal en la operación de las válvulas para prevenir la formación de ondas de sobrepresión.

### 2.3.8 Edad de las tuberías

En general, los niveles de corrosión externa e interna se incrementa con el tiempo [2,10,17,18] y en consecuencia conforme más antiguas son las tomas, mayor incidencia de fallas presentan por el debilitamiento de sus componentes.

Las tuberías antiguas tienden a tener más problemas por las siguientes razones [10]: 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.

En estudios realizados en México [37], se ha determinado que en tuberías de hasta 2 pulg. de diámetro, en una edad comprendida entre los 15 y 50 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. La acumulación de tubérculos de enmohecimiento que deterioran al tubo con la edad no siguen ninguna regla, ya que depende de la calidad del agua y del tipo de metal de la tubería.

### 2.3.9 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 o transversales, dependen principalmente del tipo de material de la misma. Los principales tipos de falla y causas estructurales [5.20], en tuberías metálicas, se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Causas estructurales de falla.

TIPO DE FALLA	ESFUERZOS EN LOS EJES	CAUSAS ESTRUCTURALES
Circunferencia	Longitudinal	Contracción térmica. Fallas de apoyo. Presión interna.
Longitudinal	Transversal	Cargas externas circundantes Presión interna.

#### a) Esfuerzo longitudinal.

Los esfuerzos longitudinales en tuberías pueden ser causados por contracción térmica, condiciones de balanceo y/o efectos de presión.

#### b) Esfuerzos de contracción térmica.

La contracción de materiales metálicos, puede causar esfuerzos de tensión longitudinales en tuberías, cuando está restringida a la contracción. Esta limitación puede ocurrir en conexiones rígidas. Una combinación de corrosión y de contracción térmica, explica el patrón de altas frecuencias de falla circular, ya que la carga de contracción térmica se desarrolla en el área corroída de la tubería, donde hay menos metal, incrementando los esfuerzos de tensión en éste. Si una sección de la tubería está severamente corroída, los esfuerzos de contracción térmica pueden ser lo suficientemente grandes para provocar una falla.

#### c) Esfuerzos de flexión.

Las tuberías de agua no están diseñadas para actuar como vigas. Sin embargo en algunas situaciones, una toma puede quedar sin apoyo, ocasionando que ésta actúe como una viga. Entre estas situaciones se incluyen: 1) cuando en el suelo donde se encuentra apoyada, durante la construcción no se colocó plantilla, 2) las fugas en



servicios de agua o tuberías provocan que el suelo se deslice, 3) asentamiento del terreno por alcantarillas y otros servicios, 4) excavaciones en la proximidad de la toma alteran la consistencia del suelo y 5) casos donde la tubería está en contacto directo con otra estructura.

d) Esfuerzos de flexión longitudinal.

Las tuberías sujetas a presión interna ejercen esfuerzos a lo largo del eje longitudinal debido a la flexión. El esfuerzo de presión longitudinal es la mitad del esfuerzo tangencial transversal. Este esfuerzo es directamente proporcional a la presión y al diámetro o inversamente proporcional al espesor de la pared.

e) Esfuerzos longitudinales combinados.

Las tuberías sujetas a bajas temperaturas, alta presión y condiciones de inestabilidad pueden ser vulnerables, ya que la contracción térmica causa esfuerzos de tensión adicionales, los que combinados con los de flexión debidos a condiciones de inestabilidad, provocan una falla circular.

f) Esfuerzos transversales.

Son producto de esfuerzos tangenciales por presión interna y esfuerzos circulares por cargas externas.

g) Esfuerzos tangenciales.

Una tubería que trabaja a presión está sujeta a esfuerzos tangenciales, los cuales son directamente proporcionales a la tensión y al diámetro, o inversamente proporcionales al espesor de pared. La presión máxima interna que una tubería puede soportar, se calcula con los esfuerzos de tensión al rompimiento, el espesor de pared y el diámetro nominal [5,21,22,23,24,25,26].

h) Esfuerzos circulares.

Una tubería enterrada está sujeta a cargas externas (peso del relleno y tránsito vehicular), las cuales ejercen una fuerza de compresión que actúa sobre la tubería. El esfuerzo circular es directamente proporcional a la carga externa y al diámetro e inversamente proporcional al espesor de pared. La carga circular máxima que una tubería puede soportar está determinada por su módulo de falla, espesor de pared y diámetro nominal [5,21,22,23,24,25,26].

## 2.4 Técnicas de detección de fugas

Entre las técnicas de detección de fugas en redes de distribución, que se han utilizado en México destaca la de distritos hidrométricos (DH) [4], que por su importancia se describe a continuación:

Esta técnica, consiste en aislar sectores homogéneos de la red (lámina 3), donde se realizan mediciones de los volúmenes abastecido y consumido por los usuarios en cada sector, durante un período de 24 horas como mínimo, para calcular índices de consumo que determinan una mayor o menor incidencia de fugas.

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

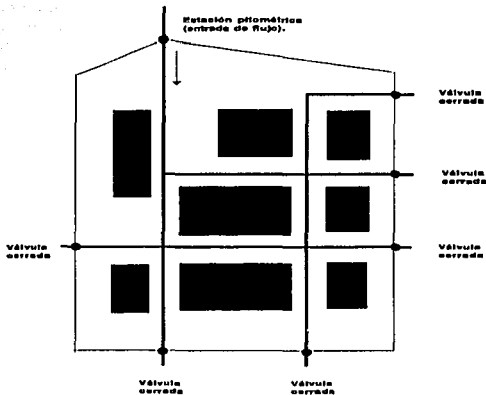


Lámina 3. Distrito hidrométrico

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

- La variación de la presión en la red dentro de cada sector no debe ser mayor de  $1.0 \text{ Kg/cm}^2$ , de un punto a otro en el espacio.
- El conjunto de tomas domiciliarias en el sector, pertenece a usuarios de un solo estrato socioeconómico.
- El conjunto de tomas domiciliarias en el sector se encuentra instalado en un mismo tipo de suelo.
- El conjunto de tomas domiciliarias en el sector es de un mismo tipo de material.

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 [4], para:

a) 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

b) 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.

## CAPITULO 3. MEDICIONES EXPERIMENTALES

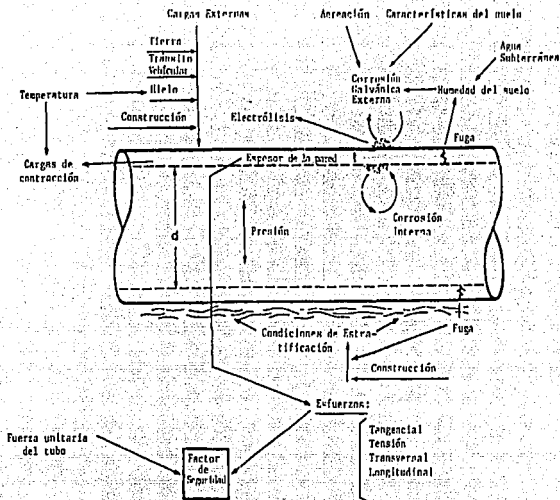
Es difícil determinar con exactitud cuáles son las causas que originan las fugas en una toma domiciliaria, por la compleja interrelación de los factores involucrados en el proceso de falla de una instalación, ya que las condiciones de trabajo de un sistema de distribución de agua pueden verse modificadas por diversos factores; aún las condiciones de trabajo de instalaciones individuales de una misma zona pueden ser diferentes.

### 3.1 *Planteamiento del problema*

Si se considera que los tipos de fallas que se presentan en tomas domiciliarias, se asocian con múltiples factores (capítulo 2), entre los cuales destacan los siguientes: presión, corrosión externa, corrosión interna, cargas externas, movimientos del suelo, mala calidad de los materiales, mala calidad de la mano de obra, golpe de ariete, edad de las instalaciones y esfuerzos estructurales, se puede estimar lo complicado de reproducir en un experimento todas las causas relacionadas con fugas en tomas domiciliarias y de la necesidad de tener en cuenta sólo aquellas que se considera son las de mayor importancia para el análisis del problema.

Con anterioridad poco se ha estudiado como interactúan el (los) factor(es) asociados con la presencia de fugas en tomas domiciliarias. El propósito de éste trabajo es establecer las relaciones y efectos que existe entre dichos factores, para considerarlos en la solución de la problemática de fugas en tomas, de los sistemas de distribución de agua del país.

Existen algunos estudios realizados especialmente en Estados Unidos de Norteamérica y Europa [5], que establecen algunas relaciones entre factores (lámina 4), y su influencia en la presencia de fugas en líneas principales, estos estudios son de utilidad y pueden aplicarse a los problemas de fugas en tomas domiciliarias, sin embargo es necesario adecuar y/o desarrollar procedimientos de prueba y análisis especialmente para este tipo de instalaciones.



Lamina 4. Factores asociados con la presencia de fugas en tomas domiciliarias [5].

Se presenta a continuación, algunos resultados de éstos estudios:

#### Relación gasto de fuga-presión

Una de las relaciones más importantes, es la que existe entre el gasto de fuga y la presión hidráulica interna en las instalaciones, debido a que el gasto de fuga se incrementa cuando aumenta la presión [1,2,4,5,10]; Greeley [27] ha calculado el gasto de fuga para diferentes presiones considerando dos tipos de falla: perforación y rotura, en ambos casos el gasto de fuga depende del área de la fuga y la presión; considera la ecuación de los orificios, para establecer la relación.

### Relación porcentaje de falla-tipo de suelo

Es importante considerar el tipo de suelo que existe en el lugar donde está instalada la toma domiciliaria, debido a que el tipo de suelo se ha identificado como causa de fugas en los sistemas de distribución de agua. En la lámina 5, se puede observar la relación porcentaje de falla-tipo de suelo [5].

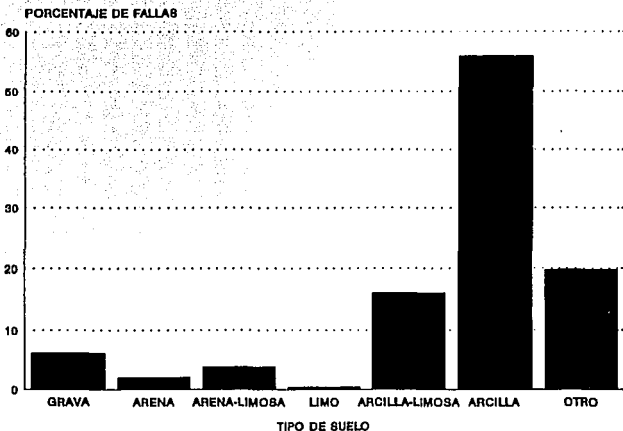


Lámina 5. Relación porcentaje de falla-tipo de suelo [5]

De la lámina 5, se hace el siguiente análisis:

1. El porcentaje de fallas es mayor en suelos cohesivos que en no cohesivos.
2. El porcentaje de falla es mayor cuando el tipo de suelo es arcilloso, lo anterior se debe a que:
  - a) El suelo arcilloso está sujeto a cambios volumétricos extremos, como resultado de la variación en el contenido de humedad.
  - b) La expansión o contracción del suelo puede causar esfuerzos cortantes y condiciones de inestabilidad en la instalación.

c) Los esfuerzos cortantes producto de la expansión o contracción del suelo afectan las uniones de una instalación, principalmente si es a base de componentes metálicos con uniones rígidas, ya que los esfuerzos cortantes que se desarrollan provocan el desacoplamiento de sus componentes, presentándose como consecuencia condiciones de inestabilidad en la toma domiciliaria por la presencia de fugas, que socavan o deslizan el terreno de apoyo de la instalación; lo que a su vez provoca que la instalación sea más susceptible a fallar por el efecto de cargas externas y asentamientos del terreno. Si la instalación es de material plástico los esfuerzos cortantes pueden provocar aplastamiento [14] en la tubería del ramal de la toma si la calidad de los materiales es deficiente.

d) Las condiciones de inestabilidad provocan que las cargas externas que actúan sobre la toma, producto del tránsito vehicular y del peso propio del relleno, ocasiona un desacoplamiento de las uniones si la instalación es a base de componentes metálicos o bien fallas por excesivas deflexiones si la instalación es a base de componentes plásticos [14].

3. El suelo arcilloso tiene un alto porcentaje de humedad, por lo que su resistividad es baja, lo que ocasiona que se incrementen los niveles de corrosión externa de las instalaciones metálicas, ya que un suelo con estas características funciona como un medio electrolítico (permite el flujo de electrones), lo que alienta a que el proceso de corrosión externa se desarrolle con mayor rapidez, principalmente si los componentes de la instalación son de distinto potencial electroquímico (diferente tipo de material metálico).

#### *Relación edad de la instalación-porcentaje de fallas*

Algunos expertos colocan a la edad de las instalaciones como la causa principal de la presencia de fugas en tomas domiciliarias, sin embargo en gran cantidad de sistemas de distribución las instalaciones 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 [2].

El comportamiento de la relación edad de la instalación-porcentaje de fallas en el tiempo, presenta dos posibles patrones de ocurrencia:

a) Cuando la instalación de la toma domiciliaria se realiza adecuadamente; es decir que el material es de buena calidad, el proceso de construcción es el adecuado y se consideran los factores que pueden dañar la instalación.

b) Cuando la instalación de la toma domiciliaria no se realiza adecuadamente; es decir que el material es de mala calidad, el proceso de construcción no es adecuado y no se consideran los factores que pueden dañar la instalación.

En la lámina 6, se presenta el comportamiento esperado de la edad de las instalaciones-porcentaje de fallas, cuando se realizó una instalación adecuada.

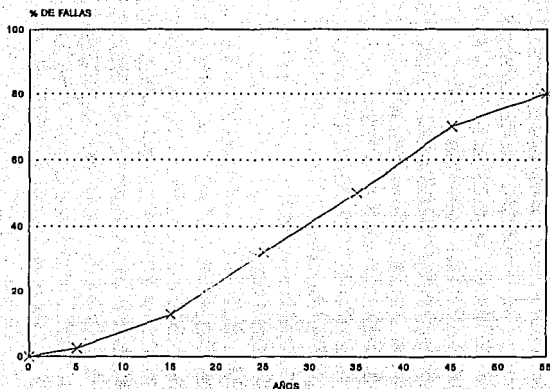


Lámina 6. Edad de la instalación-porcentaje de fallas [2].

De la lámina 6 se hace el siguiente análisis:

1. Un comportamiento como el que se presenta en la lámina 6, indicarla que la instalación se realizó 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.
2. En estudios recientes realizados en México [37], se ha determinado que en tuberías metálicas de hasta 2 pulg. de diámetro y edad comprendida entre 15 a 50 años, el diámetro disminuye con el tiempo debido a los efectos de oxidación e incrustaciones y depósitos que se forman en la tubería. La disminución se estabiliza a los 25 años y llega a alcanzar hasta 6% del diámetro nominal; observando mayores efectos en tuberías de Fo.Go. que en las de cobre.
3. El daño por corrosión en las tomas domiciliarias a base de componentes metálicos, se incrementa con el tiempo y por consiguiente conforme más viejas son las



instalaciones, mayor incidencia de fugas presentan. El periodo estimado para que se presente una falla por corrosión es de 30 años [28].

4. La corrosión ocasiona que la tubería de la toma domiciliar se debilita progresivamente con el tiempo y si se considera que la instalación está sujeta a la acción de diversos factores (capítulo 2), entonces la presencia de fugas en tomas domiciliarias conforme transcurre el tiempo se incrementa.

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 materiales o instalación deficiente (lámina 7).

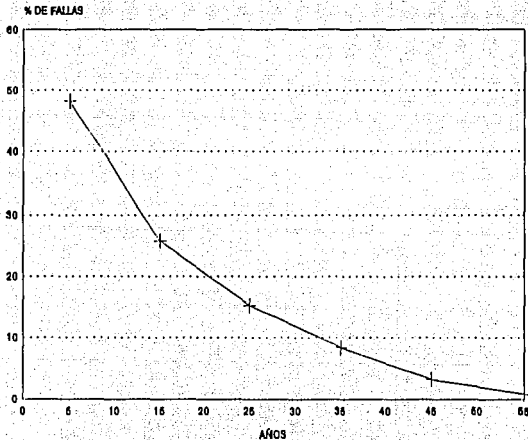


Lámina 7. Edad de la instalación - porcentaje de fallas.

De la lámina 7, se hace el siguiente análisis:

a) El comportamiento de la curva indica que se presentan problemas de construcción deficiente o mala calidad de los materiales, ya que el porcentaje de fallas es muy elevado en los primeros 10 años, periodo para el cual la vida útil de los materiales no se ha cumplido.

b) Si en un sistema de distribución de agua se tiene algún sector donde se presente este tipo de comportamiento y tiene una alta densidad de conexiones, entonces la falla es por mala calidad de los materiales.

c) Si en un sistema de distribución de agua tiene algún sector donde se presente este tipo de comportamiento y tiene una alta densidad de conexiones pero la ocurrencia de falla en el mismo es heterogénea, entonces la falla es por mala instalación de la toma domiciliaria.

Se han establecido otras relaciones de interés, en estudios realizados en ciudades de Norteamérica [5], entre las cuales destacan las siguientes:

#### *Relación porcentaje de falla-diámetro de la tubería*

Para tuberías mayores a 6 pulg. y menores de 16 pulg. (lámina 8).

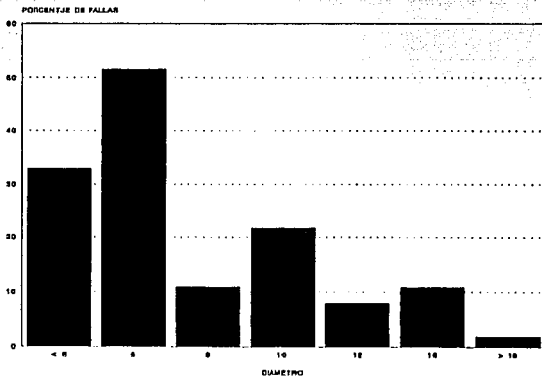


Lámina 8. Diámetro de la tubería - porcentaje de falla [5].

De la lámina 8, se observa que la frecuencia de fallas es mayor en tuberías de diámetro pequeño (menores a 8 pulg.) que en las de diámetro grande. Esto puede deberse a que en éste tipo de tuberías, el espesor de pared es delgado, lo cual las hace más susceptibles a fallas, por los efectos de corrosión y cargas externas.

#### Relación porcentaje de falla-mes

Se presenta la variación del porcentaje de falla en tuberías a lo largo del año (lámina 9).

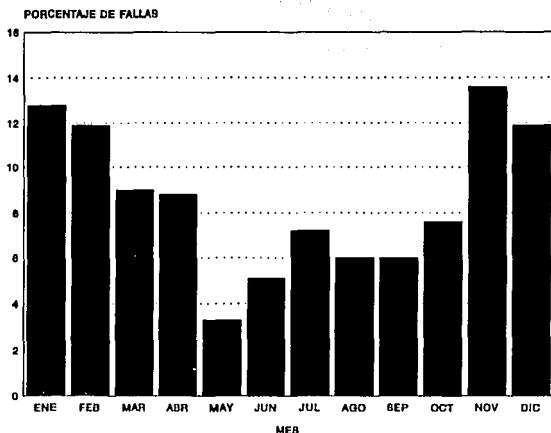


Lámina 9. Mes-porcentaje de fallas [5].

De la lámina 9, se observa que:

El porcentaje de fugas es mayor, en los meses de baja temperatura, lo cual indica que el congelamiento dentro de la tubería representa un serio problema, en aquellos lugares en donde la temperatura desciende por debajo de los 0 °C; ya que el hielo disminuye la resistividad del suelo por el aumento en el contenido de humedad, lo cual afecta a las instalaciones metálicas, ya que el suelo se vuelve más corrosivo para éstas.

### Relación gasto de fuga-año

Se presenta la variación del gasto de fuga en un período de 14 años (lámina 10).

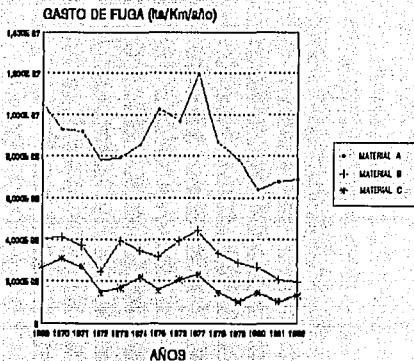


Lámina 10. Año-gasto de fuga [5].

### Relación gasto de fuga-tipo de material

En esta relación los niveles del gasto de fuga es mayor en materiales metálicos (lámina 11).

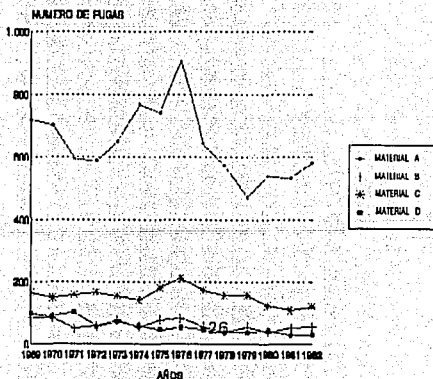


Lámina 11. Tendencia de fugas por tipo de material [6].

En la lámina 11, el tipo de material A,B,C y D, son fierro fundido, acero, PVC y PEAD, respectivamente. Este tipo de relación sirve para establecer los patrones de ocurrencia de fugas; debido a que las características del suelo y las cargas externas, influyen significativamente en ésta relación, la evaluación del número de fallas por tipo de material para que sea representativa, debe considerar la edad de las tuberías cuando se comparen los diferentes niveles de fallas.

#### *Relación profundidad de la instalación-pocentaje de fallas*

Un factor importante en la presencia de fugas en tomas domiciliarias, es la profundidad a la que se encuentra la instalación, debido a que las cargas externas a las que está sujeta, son originadas principalmente por el peso del material de relleno y el tránsito vehicular sobre la instalación, en la lámina 12 se presentan los resultados obtenidos de estudios realizados en diferentes ciudades de México [3].

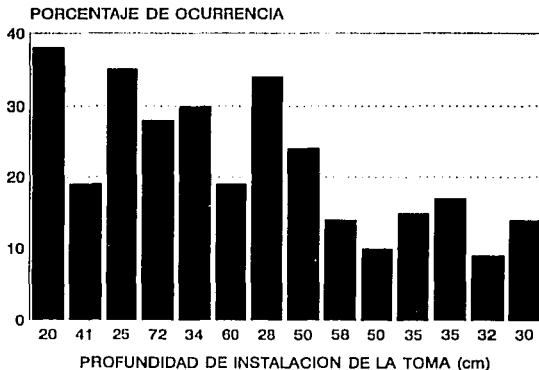


Lámina 12. Profundidad de la instalación-porcetaje de fallas.

El comportamiento que se observa en la lamina 12, puede explicarse teniendo en cuenta lo siguiente:

- a) 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 una profundidad escasa incrementa el efecto del tránsito vehicular sobre la instalación y por otra parte una profundidad excesiva aumentará el efecto de la carga del relleno sobre la clave de la tubería.

- b) La carga debido al relleno a que está sujeta las instalaciones, están en función del peso específico del material de relleno, diámetro de la tubería del ramal de la toma, espesor de la capa de relleno, tipo de zanja y de las técnicas empleadas en su construcción.
- c) La carga asociada al tránsito vehicular es una función del factor de impacto, espesor y ancho de la capa de relleno, cargas concentradas y diámetro de la tubería del ramal de la toma [14].
- d) El factor de impacto es una función del tipo y velocidad del vehículo, y de la rugosidad de la superficie del terreno, para tomas domiciliarias se recomienda un factor de impacto de 1.2 [14].
- e) Los máximos factores de impacto se presentan en vehículos con velocidades de 8 a 24 km [14], lo que implica que bajas o altas velocidades resultan en reducción de los factores de impacto.
- f) El pavimento reduce el factor de impacto en un 50% [14].

### 3.2 *Campo experimental para tomas domiciliarias*

El campo experimental se construyó con la finalidad de evaluar el comportamiento de diferentes diseños de tomas domiciliarias, bajo diferentes condiciones de trabajo, así como para realizar experimentos con factores asociados con la presencia de fugas en tomas.

#### 3.2.1 Descripción general del campo experimental para tomas domiciliarias

##### 3.2.1.1 Dimensión y estructura de los módulos de prueba

El campo se integra por tres módulos de prueba de 7.5 m<sup>2</sup> por un metro de alto cada uno, para un área colectiva de 22.5 m<sup>2</sup>; se construyeron con ladrillo y refuerzos horizontal y vertical, ver lámina 13.

##### 3.2.1.2 Sistema de medición del campo

Para determinar el volumen, presión y velocidad del agua, que circulaba en el campo experimental, se contó con un sistema de medición automatizado, el cual ofrece la ventaja de contar con dispositivos de lectura de datos mas precisos y de tener integrada al sistema una computadora para el registro y despliegue de la información. Además en cada una de las tomas (en el cuadro) se instalaron micromedidores de 2 m<sup>3</sup>/h de capacidad.

Se emplearon válvulas para orientar el flujo o aumentar la presión hidráulica interna en los tramos en estudio, o bien, para el caso en que fuera necesario trabajar independientemente con alguno de los módulos del campo.

Se instalaron manómetros de presión con escala de 0-10 kg/cm<sup>2</sup>, en cada una de las tomas (en la inserción y cuadro) para obtener la variación de presión en las mismas, por la influencia de cargas externas (relleno), cierre rápido de válvulas o por la presencia de una falla.

#### 3.2.1.3 Material de relleno y profundidad de instalación

Tomando en cuenta los tipos de suelo predominantes en México [29], se empleó como material de relleno arcilla, arena y una combinación de arcilla-arena, para evaluar la influencia del terreno sobre las instalaciones, en conjunto con las condiciones hidráulicas de funcionamiento, o bien, determinar la variación del gasto de fuga para un mismo tipo de falla, por cada uno de los tipos de suelo considerados. El relleno se realizó en capas con una profundidad mínima de 30 cm y una máxima de 60 cm.

#### 3.2.1.4 Materiales de las tomas domiciliarias

Los tipos de material más comunes de las tomas domiciliarias [30], se utilizaron para realizar las pruebas: polietileno de alta densidad, cobre y fierro galvanizado, con uniones de PVC, cobre y/o fierro galvanizado respectivamente. La longitud de la tubería del ramal fue de 5 m y 19 mm de diámetro.

El material de las tuberías de abastecimiento de agua del campo experimental fue de PVC, en tanto que el de derivación para las tomas (carretes) fue de PVC, PEAD y Fo.Fo., de 4" de diámetro.

El sistema de derivación utilizado para las tomas, en todos los casos fue con abrazadera.

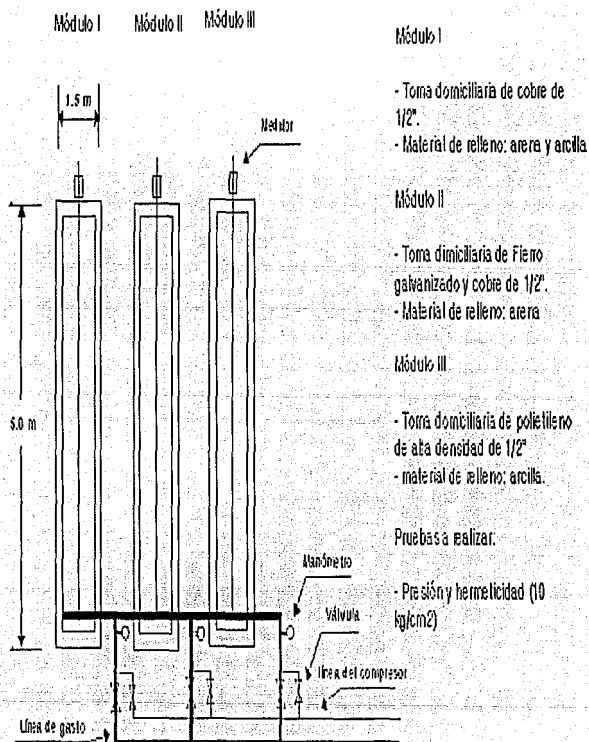
#### 3.2.1.5 Equipo de bombeo

El campo se conectó a la red de distribución del laboratorio del IMTA, que proporcionaba el gasto y presión requeridos para realizar las pruebas, mediante una tubería de 1 1/4" de cobre de 10 m de longitud, con accesorios como: válvula check, para evitar que el golpe de arieta dañara la bomba; válvula reguladora de presión, para mantener una presión estable, válvulas de control, manómetros y una salida propia.

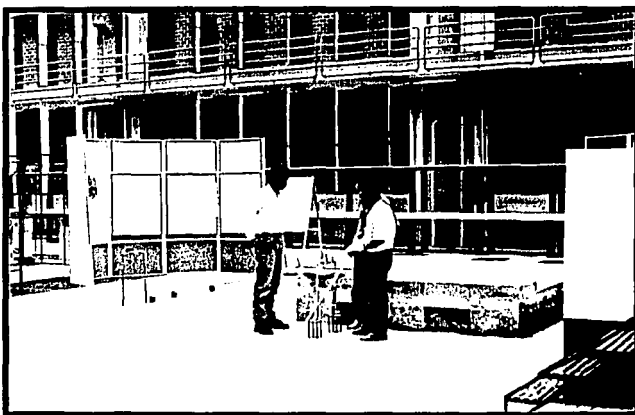
A continuación se presenta, una serie de fotografías (1 a 12) del proceso de construcción del campo experimental de tomas domiciliarias.

Lámina 13.

## Campo experimental de tomas domiciliarias



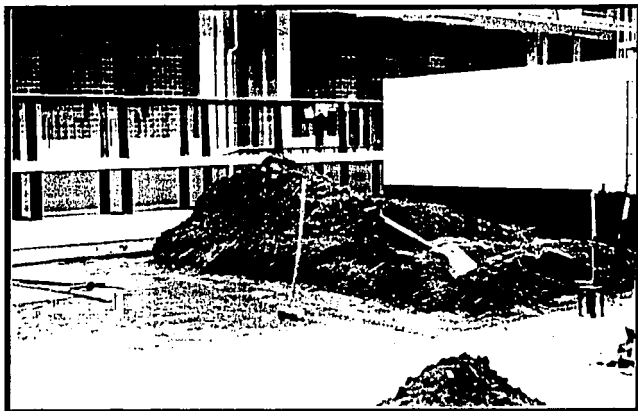




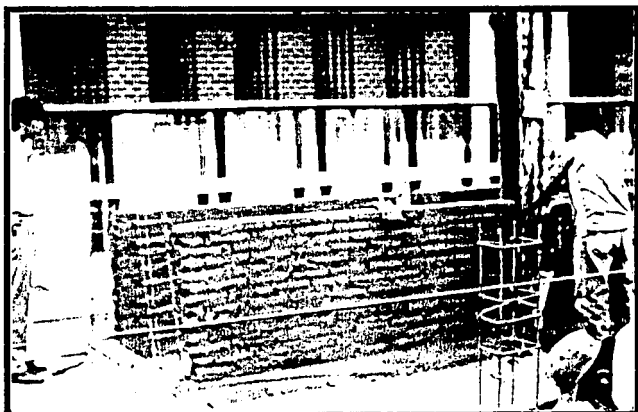
Fotografía 1. Construcción de los módulos del campo.



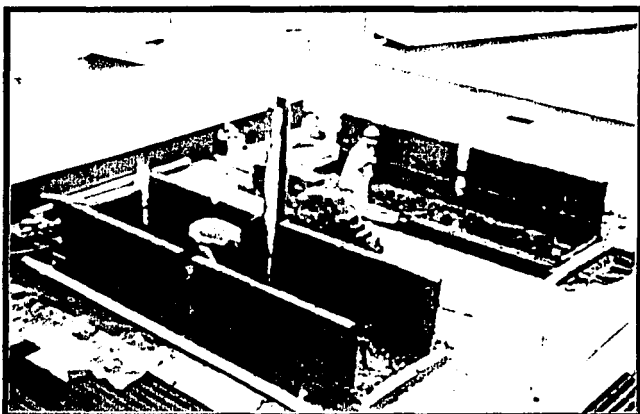
Fotografía 2. Construcción de los módulos del campo.



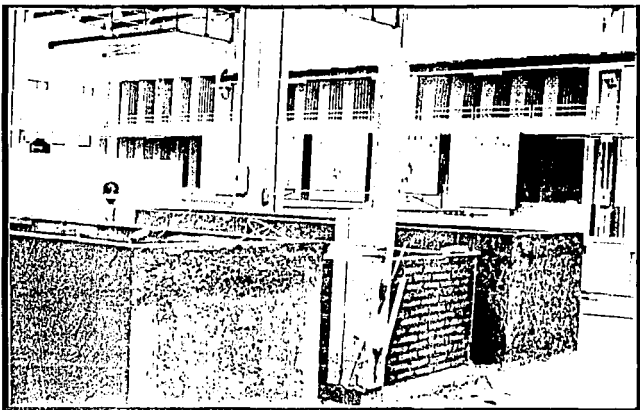
Fotografía 3. Construcción de los módulos del campo.



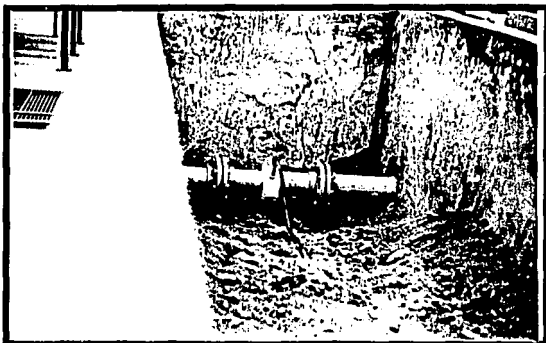
Fotografía 4. Construcción de los módulos del campo.



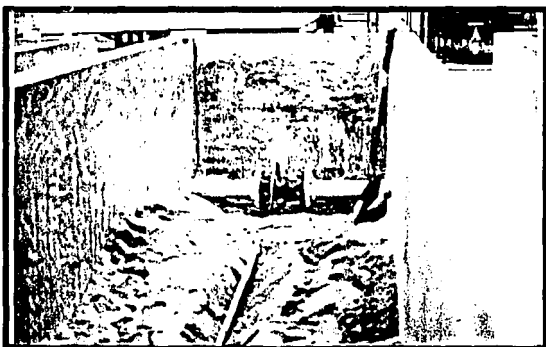
Fotografía 5. Construcción de los módulos del campo.



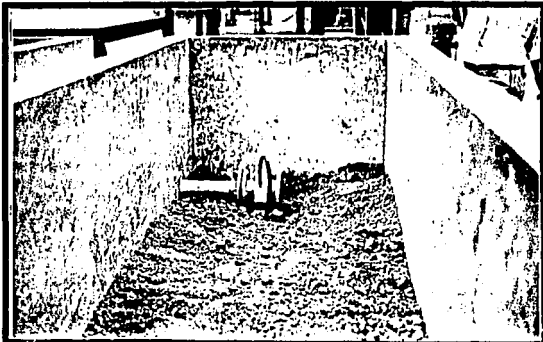
Fotografía 6. Construcción de los módulos del campo.



Fotografía 7. Abrazadera de PVC.  
Tubería de cobre.  
Tipo de suelo: arenoso-arcilloso.



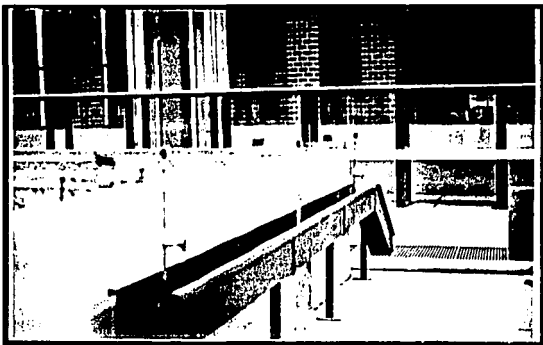
Fotografía 8. Abrazadera de Fo.Fo.  
Tubería de cobre-Fo.Go.  
Tipo de suelo: arenoso.



Fotografía 9. Abrazadora de PVC.

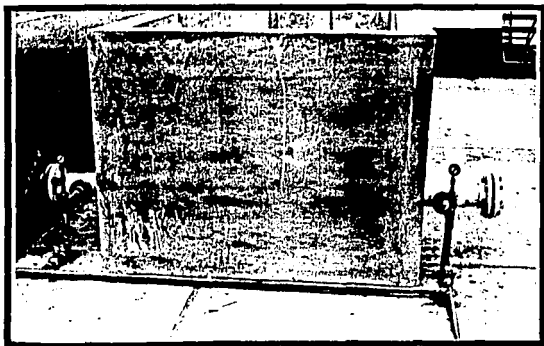
Tubería de PEAD.

Tipo de suelo: arcilloso.



Fotografía 10. Medidores de las tomas.

Manómetros y válvulas de control.



Fotografía 11. Instalación de la alimentación al módulo.  
Manómetros y válvulas de control.



Fotografía 12. Canal de descarga.  
Manómetros y válvulas de control.

### 3.3 Experimento

#### 3.3.1 Diseño del experimento

Se seleccionaron los siguientes parámetros: tipo de suelo, tipo de material de la toma, tipo de fuga, presión y gasto de fuga.

En la tabla 4, se muestra cada uno de los factores seleccionados con sus respectivos niveles:

Tabla 4. Selección de variables

	FACTORES			
	Tipo de suelo	Tipo de material	Tipo de fuga	Presión (kg/cm <sup>2</sup> )
N I V E L E S	* arcilla	* cobre	* Perforación	* min. 0
	* arcilla-arena	* Fo.Go.		* max. 5
	* arena	* PEAD		

#### 3.3.2 Justificación de la selección de variables

Para la selección de las variables se consideró lo siguiente:

Tipo de suelo; para considerar los tipos de suelo que serían incluidos en el experimento, se consultaron ocho cartas edafológicas del INEGI con escala de 1:1,000,000 que cubren la República mexicana, donde se observó que el suelo arenoso, arcilloso y arcilloso arenoso, son los tipos de suelo que con mayor frecuencia se encuentran en el país, por lo que fueron seleccionados para realizar las pruebas.

Los tipos de suelo seleccionados quedan clasificados como: cohesivos (arcilla) y no cohesivos (arena), los cuales tienen diferentes propiedades y características de interés ingenieril.

Tipo de material; del total de tomas domiciliarias instaladas en el país (30), los tipos de materiales más comunes que las componen son: PEAD, Fo.Go. y cobre, con estos tipos de materiales se realizaron las pruebas.

Tipo de fuga; de los estudios de fugas realizados en ciudades del país [3], se determinó que los tipos de fugas que más se presentaron en las tomas domiciliarias son: rajadura (longitudinal o transversal) y perforación (corte), el tipo de falla que se seleccionó para realizar las pruebas fue la perforación, debido a que los otros tipos de fugas, pueden representarse con un área equivalente (orificio).

Rango de presiones; de los estudios de fugas realizados en ciudades del país [3], se determinó el intervalo de presión dentro del cual se presentaron fugas en tomas domiciliarias; dicho intervalo es de  $0.4 \leq P \leq 4 \text{ kg/cm}^2$ . Para el experimento se consideró un rango de presión de  $0 \leq P \leq 5 \text{ kg/cm}^2$ .

### 3.3.3 Descripción de las pruebas

Las pruebas se realizaron considerando un rango de presiones de 0 a 5 kg/cm<sup>2</sup>; la prueba se inicia aumentando la presión uniformemente de 0 a 0.5 kg/cm<sup>2</sup>, se mantiene constante durante una hora, período durante el cual se realizaron aforos del volumen de fuga, registrando el tiempo para un volumen considerado y de esta manera obtener el gasto de fuga, al mismo tiempo se registraba la presión en la inserción y en el cuadro de la toma domiciliaria. El tipo de falla considerado fue un orificio con un diámetro 2 mm, (ya que los gastos de fuga, registrados con mediciones en campo [3], son aproximados al gasto que se obtendría con un orificio del tamaño seleccionado, utilizando la ecuación de los orificios); en tuberías de PEAD, cobre y Fo.Go y para tres tipos de suelo: arcilla, arena y arcilla-arena. Posteriormente se incrementa uniformemente la presión en 0.5 kg/cm<sup>2</sup>, manteniendo cada incremento durante una hora y repitiendo el proceso anteriormente descrito, hasta llegar a 5 kg/cm<sup>2</sup>.

Debido a que en la realización de las pruebas, el material de las tomas (PEAD, cobre, Fo.Go.) era nuevo y la instalación de las mismas, se efectuó siguiendo los procedimientos y recomendaciones que se dan para llevarlas a cabo [1] adecuadamente, no se consideró necesario "probar", todas las posibles combinaciones tipo de suelo-tipo de material, para el tipo de fuga y rango de presión seleccionado.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de las pruebas.



Tabla 5. Tipo de suelo arenoso (resultados de laboratorio).

TIPO DE SUELO ARENOSO		
TIPO DE MATERIAL: COBRE-Fo.Go.		
PRESSION (kg/cm <sup>2</sup> )	Q1 (dnto) (ml/s)	Q1(Ec. orificio) (ml/s)
0	0	0
0.25	8.43	16.5923604
0.5	27.7	23.4651411
0.75	24.53	28.7388112
1	29.44	33.1847208
1.25	27.8	37.1016458
1.5	36.9	40.6428166
1.75	51.45	43.8992593
2	50.7	46.9302822
2.25	55.2	49.7770812
2.5	49.73	52.4696506
2.75	61.22	55.0306338
3	64.62	57.4776225
3.25	60.9	59.0240062
3.5	65.3	62.0829279
3.75	68.56	64.2619355
4	70.1	66.3694416
4.25	71.15	68.4120545
4.5	66.7	70.3954233
4.75	79.48	72.3244222
5	83.4	74.2032915

Lámina 14. Tipo de suelo arenoso (resultados de laboratorio).

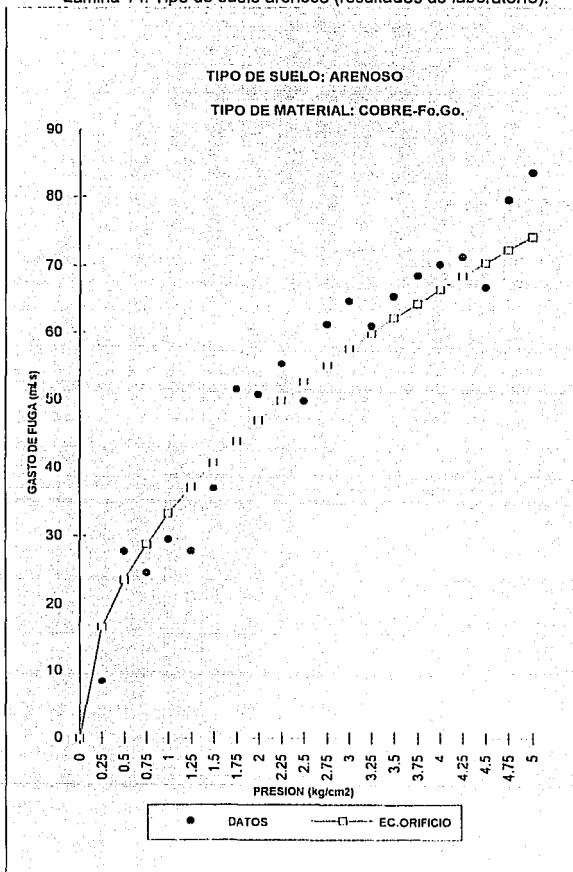


Tabla 6. Tipo de suelo arcilloso (resultados de laboratorio).

TIPO DE SUELO ARCILLOSO		
TIPO DE MATERIAL: PEAD		
PRESION (kg/cm2)	Qf (dato) (ml/s)	Qf(Ec.orificio) (ml/s)
0	0	0
0.25		13.359654
0.5	17.3	18.6934039
0.75	21.88	23.1395995
1	29.7	26.719308
1.25	36.5	29.8730945
1.5	29.73	32.7243354
1.75	29.4	35.3463221
2	40.77	37.7868078
2.25	39.3	40.078962
2.5	45.23	42.2469354
2.75	43.5	44.3089596
3	49.26	46.279199
3.25	53.2	48.1689175
3.5	46.99	49.9872481
3.75	48.3	51.7417175
4	56.42	53.438610
4.25	57.5	55.0832646
4.5	59.67	56.6802116
4.75	60.07	58.2333817
5	62.73	59.746189

Lámina 15. Tipo de suelo arcilloso (resultados de laboratorio).

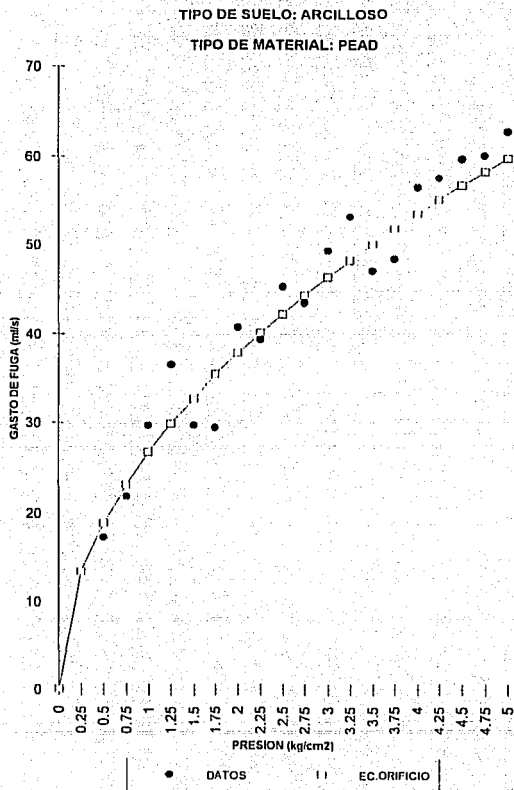
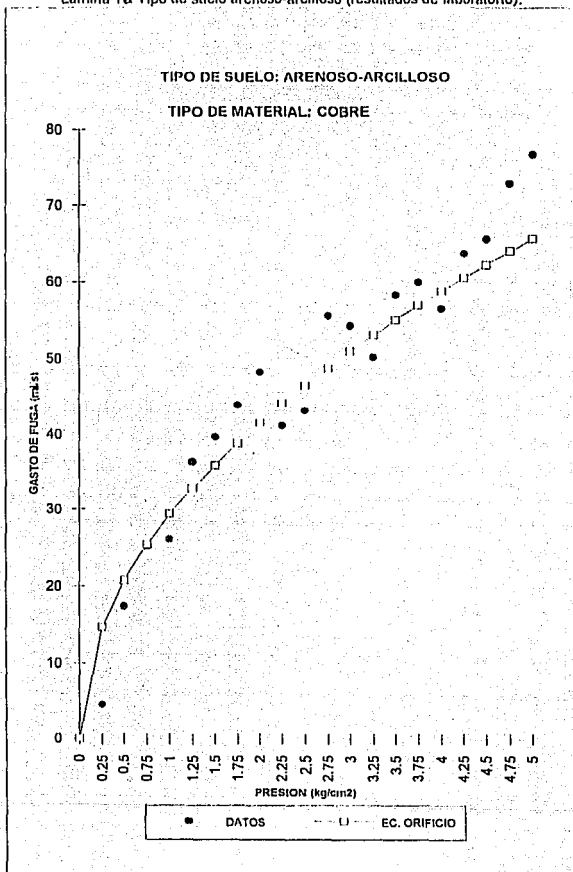


Tabla 7 Tipo de suelo arenoso arcilloso (resultados de laboratorio).

TIPO DE SUELO ARENOSO-ARCILLOSO		
TIPO DE MATERIA CORRI		
PRESION (kg/cm2)	Qf (dato) (ml/s)	Qf(Ec.orificio) (ml/s)
0	0	0
0.25	4.56	14.6964048
0.5	17.49	20.783855
0.75	25.35	25.4549198
1	26.1	29.3928096
1.25	36.5	32.8621602
1.5	39.7	35.9986928
1.75	43.9	38.8830323
2	48.2	41.56771
2.25	41.21	44.0892144
2.5	43.18	46.4741126
2.75	55.5	48.7424605
3	54.19	50.9098396
3.25	50.2	52.9880411
3.5	58.27	54.9889116
3.75	60	56.918931
4	56.49	58.7856192
4.25	63.73	60.5948293
4.5	65.64	62.351565
4.75	72.87	64.0601434
5	76.85	65.7243203

Lámina 18 Tipo de suelo arenoso-arcilloso (resultados de laboratorio).



### 3.4 Análisis de los resultados

Para encontrar la relación funcional entre los resultados del experimento, se consideró la ecuación de los orificios:

$$Q_{fuga} = C \times A_{fuga} \times \sqrt{P} \quad (1)$$

En donde el gasto esta en función del área del orificio y la presión.

Para aplicar la ecuación (1), se determinó el valor de la constante C (tabla 18), con base en los resultados obtenidos de las pruebas en el campo experimental de tomas.

#### 3.4.1 Análisis del error

En un ensayo donde intervienen varias mediciones, cada una aporta cierto error y este error se propaga hasta aparecer en el resultado dependiendo de la relación funcional entre las variables; [31]; Para determinar el error de las expresiones del gasto de fuga para diferentes tipos de suelo, se realizó el siguiente procedimiento.

Si se tiene una función:

$$R = f(x, y, \dots)$$

donde R es el resultado final y (x, y, ...) son las variables que pueden tener un cierto error de precisión  $e_x, e_y, \dots$

El error final estará dado por :

$$e_r = \left[ \left( \frac{\delta R}{\delta x} \right)^2 e_x^2 + \left( \frac{\delta R}{\delta y} \right)^2 e_y^2 + \dots \right]^{1/2} \quad (2)$$

Donde las :

$$\frac{\delta R}{\delta x}, \frac{\delta R}{\delta y}, \dots$$

Se evalúan para la región donde interesa encontrar el error.

La ecuación que representa el gasto de fuga en un orificio en forma general es:

$$Q_{fuga} = C \times A_{fuga} \times \sqrt{P}$$

Derivando la ecuación del gasto de fuga con respecto a el  $A_{fuga}$  y la presión se obtiene:

$$\frac{\partial Q_{fuga}}{\partial A_{fuga}} = \dots \sqrt{P} \quad (3)$$

$$\frac{\partial Q_{fuga}}{\partial P} = \frac{C \times A_{fuga}}{2 \sqrt{P}} \quad (4)$$

Aplicando la ecuación del error final se tiene:

$$e_r = \left[ \left( \frac{\partial Q_{fuga}}{\partial A_{fuga}} \right)^2 e_{A_{fuga}}^2 + \left( \frac{\partial Q_{fuga}}{\partial P} \right)^2 e_p^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

Para el cálculo del error se hicieron las siguientes consideraciones:

Área de fuga ( $A_{fuga}$ ) = 0.031416 cm<sup>2</sup>

Presión (P) = 5 kg/cm<sup>2</sup>

Error del área de fuga ( $e_{A_{fuga}}$ ) = ± 5 % del área de fuga

Error en la presión ( $e_p$ ) = ± 0.01 kg/cm<sup>2</sup>

A continuación, se presenta los resultados obtenidos, para el cálculo del gasto de fuga, para diferentes tipos de suelo (arenoso, arcilloso y arenoso-arcilloso), con diferentes tipos de material (Fo.Go.-cobre, PEAD, cobre). En la tabla 8, se muestra los resultados generales.



Tabla 3. Resultados generales de las pruebas en laboratorio.

TIPO DE SUELO	TIPO DE MATERIAL	EC. ORIFICIO	ERROR (ml/s)	RANGO DE PRESION (kg/cm <sup>2</sup> )
ARENOSO	Fo.Go.-cobre	$Q_{fuga} = 1956.3 \times A_{fuga} \times \sqrt{P}$	± 3.74	$0 \leq P \leq 5.0$
ARCILLOSO	PEAD	$Q_{fuga} = 850.5 \times A_{fuga} \times \sqrt{P}$	± 2.99	$0 \leq P \leq 5.0$
ARENOSO-ARCILLOSO	Cobre	$Q_{fuga} = 935.6 \times A_{fuga} \times \sqrt{P}$	± 3.29	$0 \leq P \leq 5.0$

en donde:

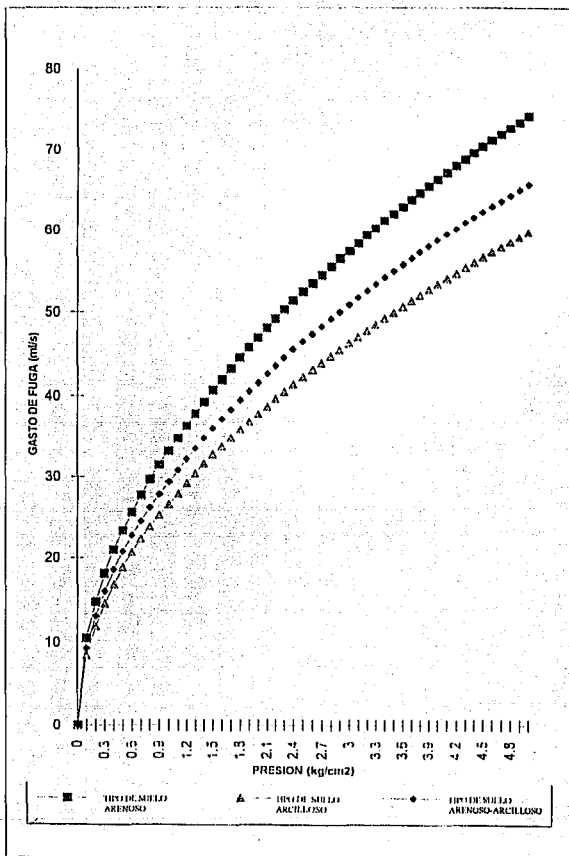
$Q_{fuga}$  = gasto de fuga en ml/s  
 $A_{fuga}$  = área de la fuga en cm<sup>2</sup>  
 $P$  = presión en kg/cm<sup>2</sup>

Tabla 9. Prevision-gasto de fuerza por tipo de suelo (resúmenes de laboratorios)

Módulo	Tipo de Suelo		
	AMT (cm)	AMT (cm)	AMT (cm)
Fuerza	Clase de Resistencia	Clase de Resistencia	Clase de Resistencia
0			
0.1	10 0000000	0 0000000	0 0000000
0.2	10 0000000	10 0000000	10 0000000
0.3	10 0000000	10 0000000	10 0000000
0.4	10 0000000	10 0000000	10 0000000
0.5	10 0000000	10 0000000	10 0000000
0.6	10 0000000	10 0000000	10 0000000
0.7	10 0000000	10 0000000	10 0000000
0.8	10 0000000	10 0000000	10 0000000
0.9	10 0000000	10 0000000	10 0000000
1	10 0000000	10 0000000	10 0000000
1.1	10 0000000	10 0000000	10 0000000
1.2	10 0000000	10 0000000	10 0000000
1.3	10 0000000	10 0000000	10 0000000
1.4	10 0000000	10 0000000	10 0000000
1.5	10 0000000	10 0000000	10 0000000
1.6	10 0000000	10 0000000	10 0000000
1.7	10 0000000	10 0000000	10 0000000
1.8	10 0000000	10 0000000	10 0000000
1.9	10 0000000	10 0000000	10 0000000
2	10 0000000	10 0000000	10 0000000
2.1	10 0000000	10 0000000	10 0000000
2.2	10 0000000	10 0000000	10 0000000
2.3	10 0000000	10 0000000	10 0000000
2.4	10 0000000	10 0000000	10 0000000
2.5	10 0000000	10 0000000	10 0000000
2.6	10 0000000	10 0000000	10 0000000
2.7	10 0000000	10 0000000	10 0000000
2.8	10 0000000	10 0000000	10 0000000
2.9	10 0000000	10 0000000	10 0000000
3	10 0000000	10 0000000	10 0000000
3.1	10 0000000	10 0000000	10 0000000
3.2	10 0000000	10 0000000	10 0000000
3.3	10 0000000	10 0000000	10 0000000
3.4	10 0000000	10 0000000	10 0000000
3.5	10 0000000	10 0000000	10 0000000
3.6	10 0000000	10 0000000	10 0000000
3.7	10 0000000	10 0000000	10 0000000
3.8	10 0000000	10 0000000	10 0000000
3.9	10 0000000	10 0000000	10 0000000
4	10 0000000	10 0000000	10 0000000
4.1	10 0000000	10 0000000	10 0000000
4.2	10 0000000	10 0000000	10 0000000
4.3	10 0000000	10 0000000	10 0000000
4.4	10 0000000	10 0000000	10 0000000
4.5	10 0000000	10 0000000	10 0000000
4.6	10 0000000	10 0000000	10 0000000
4.7	10 0000000	10 0000000	10 0000000
4.8	10 0000000	10 0000000	10 0000000
4.9	10 0000000	10 0000000	10 0000000
5	10 0000000	10 0000000	10 0000000

FALLA DE ORIGEN

Lámina 17. Presión-gasto de fuga por tipo de suelo (resultados de laboratorio).



De la lámina 17, se puede hacer el análisis siguiente:

- a) El gasto de fuga es mayor conforme aumenta la presión.
- b) Para un mismo tipo de fuga (orificio) e igual intervalo de presión ( $0 \leq P \leq 5$  kg/cm<sup>2</sup>), el gasto de fuga es mayor en el tipo de suelo arenoso, el menor gasto de fuga se presenta en suelo arcilloso; mientras que el gasto de fuga en el suelo arenoso-arcilloso está entre los tipos de suelo ya mencionados.
- c) En promedio, el gasto de fuga del suelo arenoso es mayor en un 19.5 %, respecto al del suelo arcilloso.
- d) En promedio, el gasto de fuga del suelo arenoso es mayor en un 11.4 %, respecto al del suelo arenoso-arcilloso.
- e) En promedio, el gasto de fuga del suelo arenoso-arcilloso es mayor en un 9.1 %, respecto al del suelo arcilloso.
- f) Un factor que influye para que el gasto de fuga sea mayor en el tipo de suelo arenoso, es que es más poroso que los otros dos tipos de suelo considerados en el experimento, por lo cual, el agua que escapa por una fuga, fluye con mayor velocidad que en los tipos de suelo arcilloso y arenoso-arcilloso.
- g) Un factor que influye para que el gasto de fuga sea menor en el tipo de suelo arcilloso, es que es el menos poroso de los tipos de suelo considerados, por lo cual, el agua que escapa por una fuga, fluye con menor velocidad en estos tipos de suelo; además la arcilla al estar en contacto con el agua se expande, produciendo esfuerzos alrededor de la tubería los cuales, reducen el gasto de fuga, por la interacción suelo-tubería.
- h) El gasto de fuga en el tipo de suelo arenoso-arcilloso, puede variar dependiendo de la proporción, de tipo de suelo predominante que se tenga en ésta relación, es decir, si el suelo es más arenoso que arcilloso o viceversa, ya que de ello dependerá que el agua fluya más o menos rápido, en el primer caso el gasto de fuga es mayor, mientras que para el segundo es menor.

### 3.5 Mediciones en campo

A continuación se presenta un análisis de algunos de los resultados obtenidos en los estudios de lugares [3] realizados en ciudades del país.

Los tipos de suelo característicos de cada una de ellas, se obtuvieron de las cartas edafológicas (INEGI), a diferentes escalas; 1:50 000, 1: 250 000 y 1: 1 000 000, lo cual se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Tipo de suelo característico.

TIPO DE SUELO	CIUDAD
ARENOSO	Guaymas, Son. León, Gto. Coatzacoalcos, Ver. Los Cabos, B.C. Veracruz, Ver.
ARCILLOSO	Cuernavaca, Mor. Cd. Juárez, Chih. Oaxaca, Oax. Campeche, Camp. Cd. del Carmen Camp. Zacatecas, Zac. Cancún, Qroo. Querétaro, Qro. Chetumal, Qroo. Chihuahua, Chih.
ARENOSO-ARCILLOSO	Constitución, B.C. Durango, Dgo. Xtlapa, Ver. Villahermosa, Tab. Tapachula, Chis. Tuxtla, Gtz., Chis.

De la consulta del informe final del estudio de pérdidas, de cada una de las ciudades [38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58] se obtuvo el porcentaje de ocurrencia de fugas por tipo de material, en la tubería del ramal de las tomas; la información se presenta en la tabla 11.

Tabla 11. Porcentaje de ocurrencia de fugas por tipo de material

CIUDAD	TIPO DE MATERIAL (%)		
	PEAD	Fo.Go.	COBRE
Tuxtla, Gtz., Chis.	85.10	1.30	13.60
Tapachula, Chis.	96.73	0.41	2.86
Cancún, Qroo.	96.93	0.00	3.07
Durango, Dgo.	98.18	1.21	0.61
Xalapa, ver.	3.60	0.00	96.40
Veracruz, Ver.	94.70	4.40	0.90
Campeche, Camp.	97.60	0.00	2.40
Los Cabos, B.C.	92.00	0.00	8.00
Coatzacoalcos, Ver.	95.60	4.40	0.00
Cuernavaca, Mor.	1.00	99.00	0.00
Cd. Juárez, Chih.	30.52	1.28	68.20
Guaymas, Son.	96.00	1.00	3.00
Chihuahua, Chih.	17.00	28.00	55.00
Villahermosa, Tab.	85.00	15.00	0.00
Oaxaca, Oax.	16.00	58.00	26.00
Querétaro, Qro.	78.10	3.20	18.70
Constitución, B.C.	100.00	0.00	0.00
Zacatecas, Zac.	47.50	45.50	7.00
Chetumal, Qroo.	100.00	0.00	0.00
León, Gto.	58.50	15.50	26.00
Cd. del Carmen Camp.	54.00	44.00	2.00

Los porcentajes de falla en materiales, no consideran la cantidad total de tomas domiciliarias que existen en una ciudad, para un determinado tipo de material.

Con los datos de presión y gasto de fuga de los sectores en que fue dividida, cada una de las ciudades, se realizó un análisis estadístico para obtener la ecuación del gasto de fuga para cada ciudad. A continuación se presentan los resultados.

Lámina 18. Presión-gasto de fuga para la cd. de Tuxtla Gtz., Chis.

TUXTLA GTZ. CHIS.			
Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	Q (l/min) (ml/s)	Q (l c. Ajuste) (ml/s)	Q (l c. orificio) (ml/s)
0.55	55.1	38.85360452	58.86624024
0.65	54	49.32123883	61.82012076
0.75	53.9	58.29795571	66.40546108
0.85	60.5	68.13069570	70.6940127
0.95	57.2	73.10010961	74.73688168
1.05	75.2	79.37135312	78.57200222
1.15	93.5	85.07169747	82.27844754
1.25	74	90.29636075	85.72908279
1.35	100	95.11875035	89.09227624
1.45	118.6	99.59637603	92.33304791
1.55	83.8	103.7752690	95.4638664
1.65		107.6928042	98.49521734
1.75		111.3797582	101.4360187
1.85	113.2	114.8617770	104.2939305
1.95	130.2	118.1604303	107.0755901

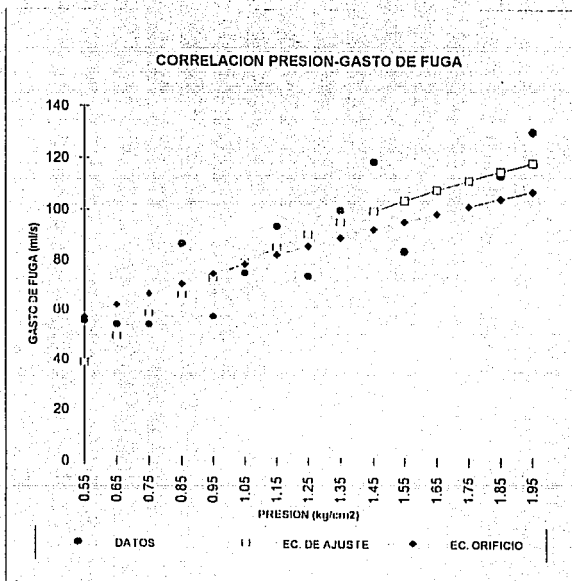




Lámina 19. Presión-gasto de fuga para la cd. de Tapachula, B.C.

TAPACHULA, B.C.			
PRESION (kg/cm <sup>2</sup> )	QI(dato) (ml/s)	QI (Ec Ajuste) (ml/s)	QI(Ec orificio) (ml/s)
0.4	45.3	48.60326628	61.83663613
0.45	57.9	53.35039568	65.58999267
0.5		62.94418597	69.13792285
0.55	66.3	79.24536308	72.51246523
0.6	100.6	105.833033	75.73676985

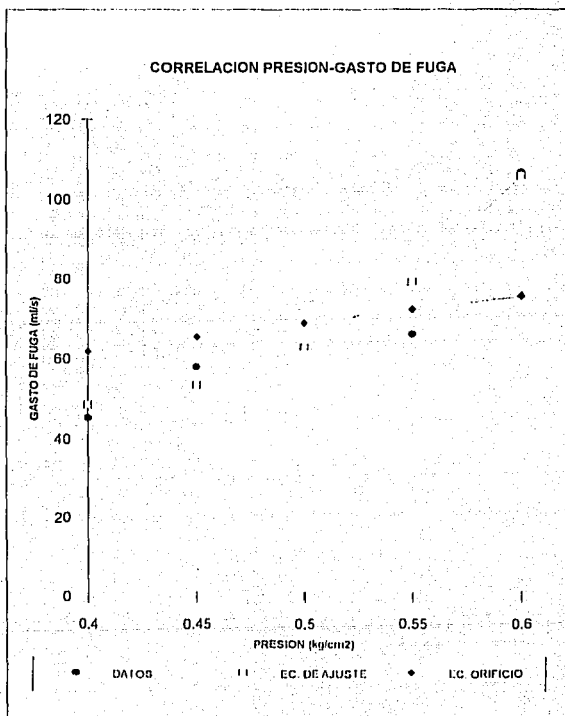


Lámina 20. Presión-gasto de fuga para la cd. de Durango,Dgo.

DURANGO,DGO.			
PRESION (kg/cm2)	QI(dato) (m/s)	QI (Ec.Ajuste) (m/s)	QI(Ec.orificio) (m/s)
0.55	16.52	18.9934653	26.6807107
0.6	20.67	22.1106748	27.86709346
0.65		24.96521949	29.00499048
0.7		27.55277299	30.09990113
0.75	36	29.87982005	31.15635766
0.8	31.43	31.96189434	32.17814782
0.85		33.8187820	33.16847558
0.9		35.47169623	34.1300798
0.95		36.94151605	35.06532364
1			
1.05	23.04	39.40930537	36.06469953
1.1		40.44184659	37.73222292
1.15	47.4	41.36030066	38.58024393
1.2		42.1776978	39.41002152
1.25	42.62	42.9055537	40.22268478
1.3	41.04	43.55401735	41.01925092
1.35		44.1320196	41.80064019
1.4	44.61	44.64741447	42.5676884
1.45		45.10710917	43.32115731
1.5	42.71	45.51718126	44.06174358

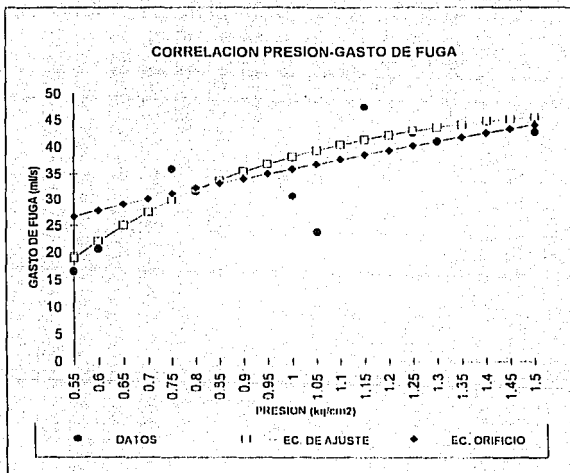


Lámina 21. Presión-gasto de fuga para la cd. de Xalapa, Ver.

XALAPA, VER.			
PRESION (kg/cm <sup>2</sup> )	Qf(dato) (ml/s)	Qf (Ec. Ajuste) (ml/s)	Qf (Ec. orificio) (ml/s)
3.9	83.4	81.34309140	84.13492302
3.95		85.30756690	84.73043025
4	89.1	89.07633017	95.33414236
4.05		94.65000237	95.92813003
4.1		100.4083709	96.51846283
4.15		106.6576392	97.10520681
4.2	114.1	113.7304254	97.69942153

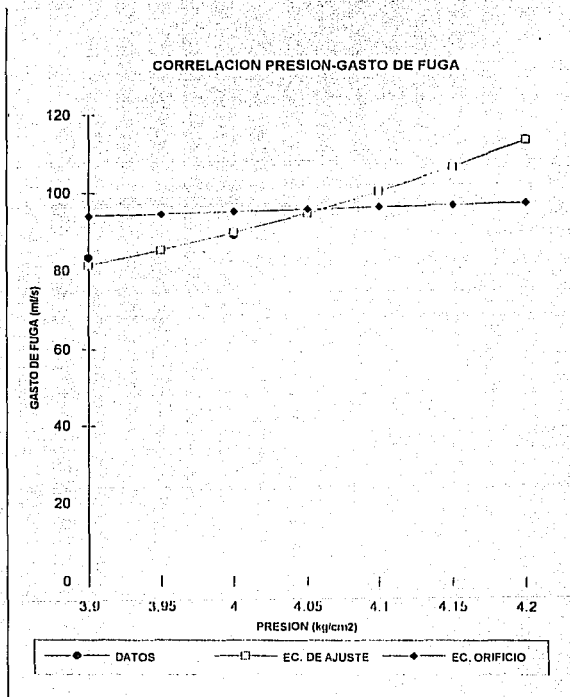


Lámina 22. Presión-gasto de fuga para la cd. de Veracruz, Ver.

VERACRUZ, VER.			
PRESION (kg/cm <sup>2</sup> )	Qf (dato) (ml/s)	Qf (Ec. Ajuste) (ml/s)	Qf (Ec. orificio) (ml/s)
0.5	21.5	20.76783677	27.65056077
0.6	21.2	22.22431771	30.27669448
0.7		23.80512381	32.71659418
0.8		25.85825888	34.87551036
0.9		28.15894667	37.09713083
1	32.2	30.9090156	39.10380936
1.1		34.25437877	41.01242125
1.2	32.4	38.41178633	42.83607694
1.3		43.71775051	44.58520246
1.4	53.2	50.72451859	46.2682517
1.5		60.40595216	47.89218997
1.6		74.65478879	49.46284111
1.7	111.4	97.70094055	50.98512961

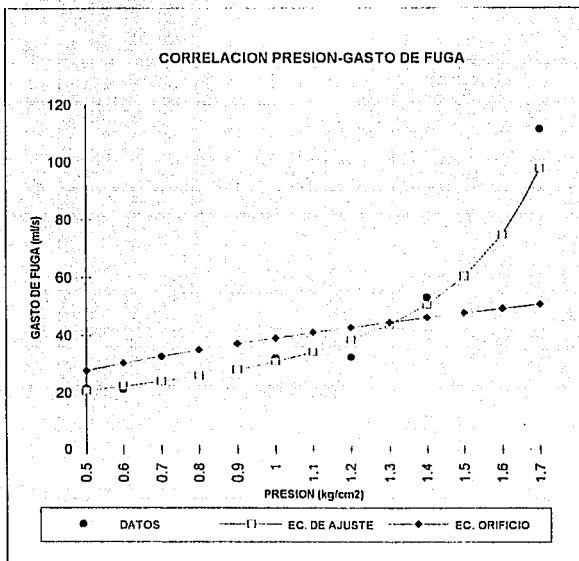


Lámina 23. Presión-gasto de fuga para la cd. de Campeche, Camp.

CAMPECHE, CAMP.			
PRESION (kg/cm <sup>2</sup> )	Qf(dato) (ml/s)	Qf (Ec. Ajuste) (ml/s)	Qf (Ec orificio) (ml/s)
0.4		16.4096	13.64833625
0.45	11.53	14.4118375	14.47624667
0.5		12.76075	15.25930382
0.55		11.4833375	16.00409286
0.6	12.03	10.5526	16.71572983
0.65	14.1	9.9775375	17.3852327
0.7		9.25115	18.05405177
0.75		8.654375	18.687541
0.8		8.0654	19.31142224
0.85		11.2340375	19.89569603
0.9		12.43735	20.47250438
0.95		13.9963375	21.03349878
1	13.34	15.911	21.57991442
1.05		18.1813375	22.11203205
1.1	24.72	20.80735	22.63320518
1.15	21.86	23.7890375	23.14188006
1.2		27.1264	23.63961183
1.25		30.8194375	24.12707779
1.3	27.9	34.86815	24.60488809
1.35		39.2725375	25.07359474
1.4		44.0326	25.53369908
1.45		49.1483375	25.98565804
1.5	54.40	54.61975	26.42988951

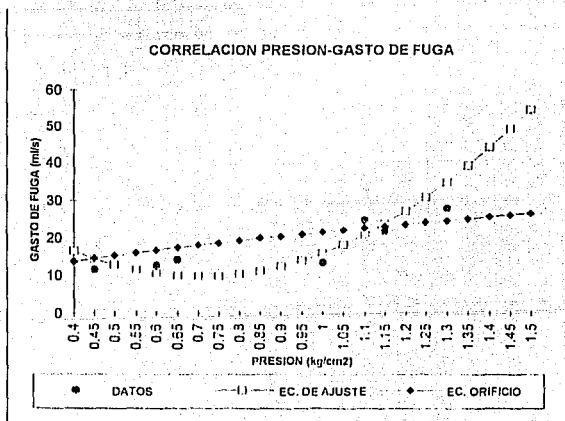


Lámina 24. Presión-gasto de fuga para la cd. de Los Cabos, B.C.

LOS CABOS, B.C.			
PRESION (kg/cm <sup>2</sup> )	Ql(dato) (ml/s)	Ql (Ec.Ajuste) (ml/s)	Ql (Ec.orificio) (ml/s)
0.8	10.7	9.492483474	32.99808373
0.9	7.4	16.12203752	34.99975316
1	21.9	22.089862	36.89297917
1.1		27.48760176	38.69368299
1.2		32.41535200	40.41423381
1.3		36.94844295	42.06446821
1.4		41.14542956	43.65236164
1.5	42.4	45.05273061	45.18448703
1.6		48.70776665	46.66633754
1.7	51.2	52.14114525	48.10255971
1.8	56.6	55.3782207	49.49712559
1.9		58.44023139	50.85346235
2		61.34514517	52.1745515
2.1		64.10029917	53.46300009
2.2		66.74299994	54.72113127
2.3		69.28033364	55.94917117
2.4		71.67003520	57.15435757
2.5		73.9825237	58.33292193
2.6		76.20372613	59.48814144
2.7	79.5	78.34108931	60.62135072

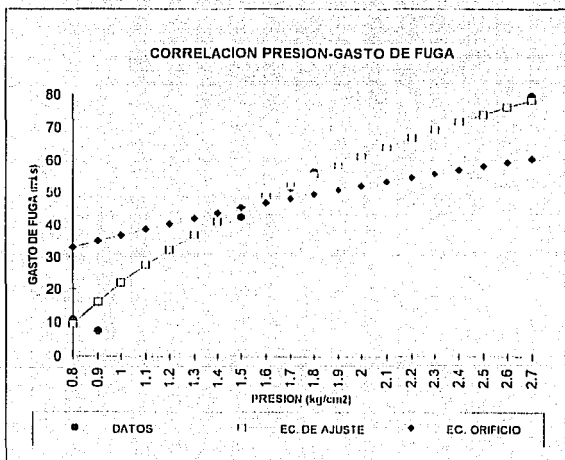


Lámina 25. Presión-gasto de fuga para la cd. de Coatzacoalcos, Ver.

COATZACOALCOS, VER.			
PRESION (ml/s)	Qf (dato) (ml/s)	Qf (Ec Ajuste) (ml/s)	Qf (Ec orificio) (ml/s)
1.6		44.68025691	42.77754294
1.7		45.79741379	44.09408198
1.8	45	46.83640749	45.37243604
1.9	48.2	47.81077001	46.61574668
2	47.3	48.72107186	47.82674696
2.1	53.2	49.57507082	49.00783214
2.2		50.37783375	50.16111539
2.3		51.13383726	51.28847223
2.4		51.8470512	52.39157632
2.5		52.5210084	53.47192867
2.6		53.15860322	54.53088155
2.7		53.76344086	55.56965834
2.8		54.3327925	56.58937016
2.9	53.6	54.88266465	57.59102966

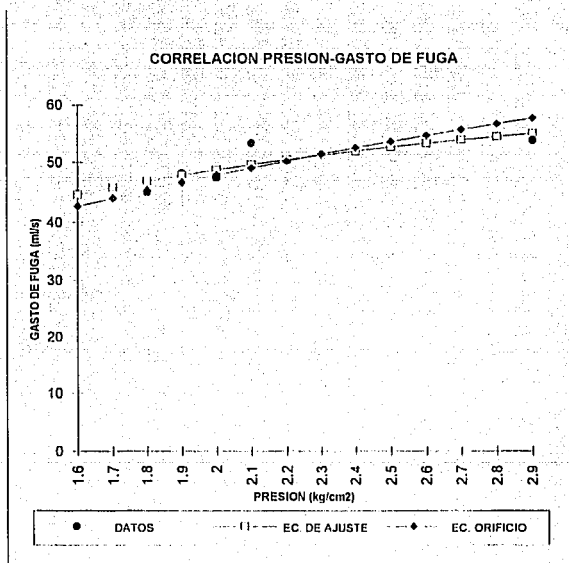


Lámina 26. Presión-gasto de fuga para la ciudad de Cuernavaca, Mor.

CUERNAVACA, MOR.			
PRESSION (kg/cm2)	Qf(dato) (ml/s)	Qf (Ec Ajuste) (ml/s)	Qf(Ec. orificio) (ml/s)
1.5	28.0	29.7976667	34.5895999
1.6		32.30325	35.72398514
1.7		34.6644706	36.82344105
1.8	38.4	36.8234476	37.89100824
1.9	38.7	38.507	38.9293103
2	41.2	40.14	39.94062903
2.1		41.61747619	40.92696854
2.2		42.96003036	41.89008575
2.3		44.187	42.83155355
2.4		45.31116667	43.75276762
2.5		46.3454	44.65498146
2.6		47.30007692	45.53932436
2.7	47.0	48.18403704	46.40681802
2.8		49.00485714	47.25839026
2.9		49.76968897	48.09488692
3		50.48233333	48.9170813

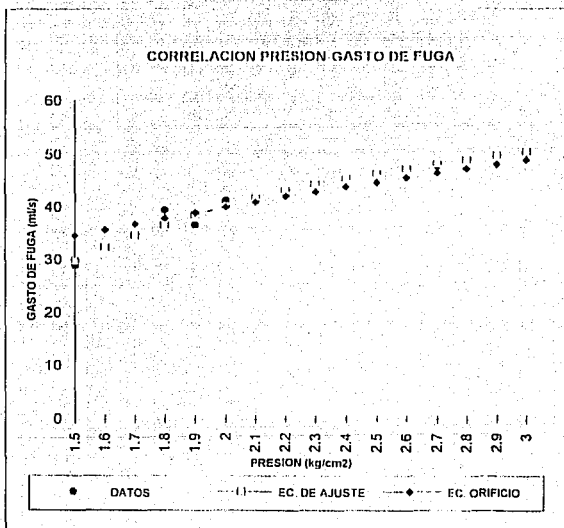




Lámina 27. Presión-gasto de fuga para Cd. Juárez, Chih.

CD. JUAREZ, CHIH.			
PRESION (kg/cm <sup>2</sup> )	QI(dato) (ml/s)	QI (Ec.Ajuste) (ml/s)	QI(Ec.orificio) (ml/s)
1.8	13.81	13.47164190	31.54041827
1.9		20.61341541	32.48579543
2		26.2855	33.28668373
2.1		30.88854172	34.11075435
2.2	30.31	34.3968843	34.91346604
2.3	24.1	37.25751796	35.69813628
2.4		39.52515278	36.46592597
2.5		41.3118	37.21787985
2.6		42.706119527	37.95493812
2.7		43.77918956	38.67795531
2.8		44.5877449	39.38770176
2.9		45.17798216	40.08468335
3		45.58744444	40.77014467
3.1	41.5	45.84687097	41.44407701
3.2		45.99155469	42.10722435
3.3		46.01240312	42.76008847
3.4		45.95877163	43.4031334
3.5		45.82912245	44.03678931
3.6		45.64154938	44.66145582
3.7	42.13	45.40419795	45.277505

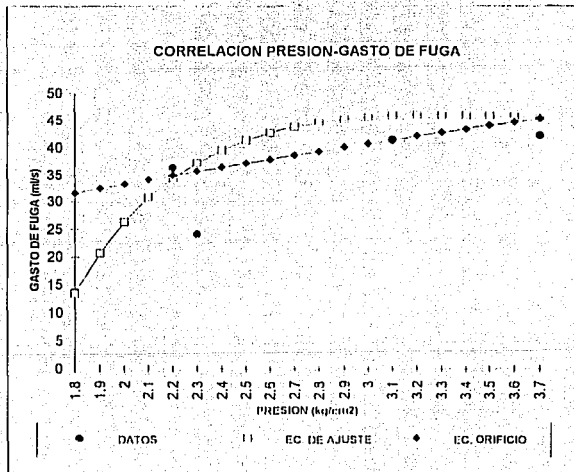


Lámina 28. Presión-gasto de fuga para la cd. de Guaymas, Son.

GUAYMAS, SON				
Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	Q (ml/s)	Q (l. A) (ml/s)	Q (l. A) (ml/s)	Q (l. A) (ml/s)
0.55		11	10 74578512	21.15263609
0.6			10.21222222	22.09320785
0.65			11.03526627	22.99533998
0.7			12.67061224	23.86339188
0.75			14.78222222	24.7009573
0.8			17.15875	25.511039
0.85	20.4		19.66560554	26.2961771
0.9	17.5		22.21654321	27.05854301
0.95	24.5		24.75634349	27.80001023
1			27.25	28.52220869
1.05	33.7		29.67582766	29.22656682
1.1			32.02099174	29.91434484
1.15	18.8		34.27856333	30.58666125
1.2			36.44888889	31.24451418
1.25	29.5		38.5218	31.88879875
1.3			40.50881734	32.52032147
1.35			42.40780254	33.13991177
1.4	45.2		44.22265306	33.74793244
1.45			45.95747919	34.34528735
1.5	40.1		47.61555556	34.93242881
1.55			49.20066597	35.50986345
1.6	50		50.7165825	36.07805734
1.65	41.9		52.16690542	36.63744043

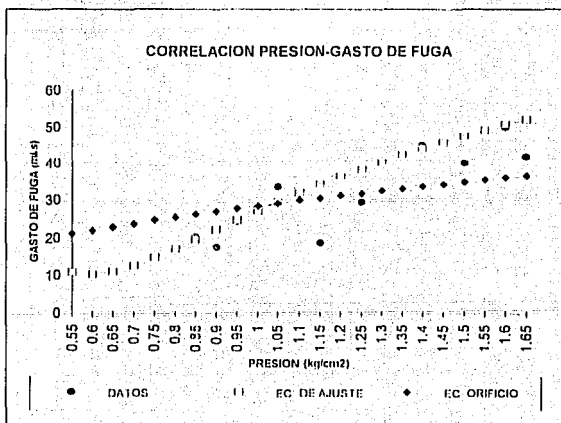


Lámina 29. Presión-gasto de fuga para la Cd. de Chulahuata, Chile.

CHULAHUATA, CHILE			
PRESION (ml/s)	Qf(dato) (ml/s)	Qf (Ec Ajuste) (ml/s)	Qf(Ec orificio) (ml/s)
1.55	91	84.0085	87.02074074
1.6	85	89.342	89.32757002
1.65		90.6755	90.71257621
1.7		92.009	92.07675165
1.75		93.3425	93.42100891
1.8		94.676	94.7461958
1.85		96.0095	96.05310161
1.9		97.343	97.34246268
1.95		98.6765	98.61496718
2	100	100.01	99.87125945

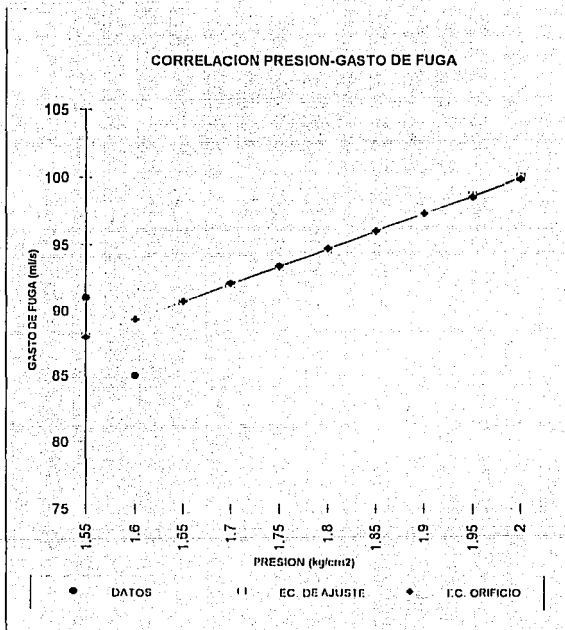


Lámina 30. Presión-gasto de fuga par la cd. de Villahermosa, Tab.

VILLAHERMOSA, TAB.			
PRESSION (kg/cm <sup>2</sup> )	Qf (rnto) (ml/s)	Qf (Ec Ajuste) (ml/s)	Qf (Ec orificio) (ml/s)
0.8	62.8	62.85169074	89.59139748
0.85		74.57110043	102.34900171
0.9	107.4	86.21815429	115.02902705
0.95		97.3268117	97.62996196
1		107.0774615	100.1662275
1.05		114.8818571	102.6398401
1.1	120	120.1968002	105.052257
1.15		122.6372614	107.4163121
1.2		122.0225395	109.7266048

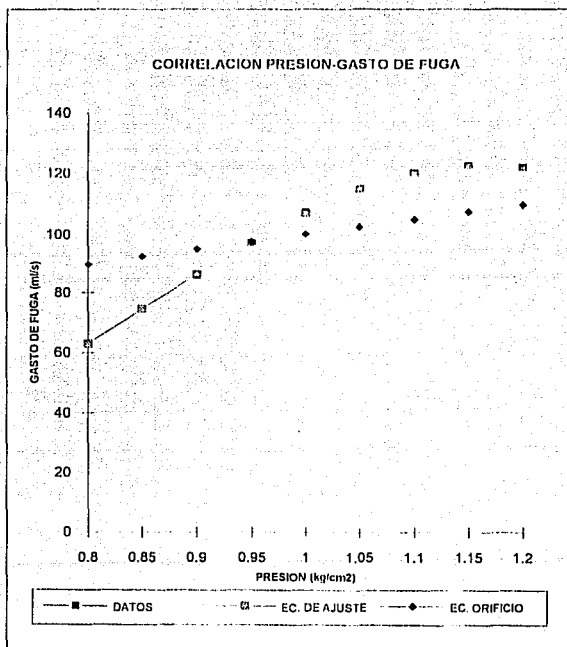


Lámina 31. Presión-gasto de fuga para la cd. de Oaxaca, Oax.

OAXACA, OAX.			
PRESION (kg/cm2)	Qf (dato) (m³/s)	Qf (Ec Ajuste) (m³/s)	Qf (Ec orificio) (m³/s)
1	56.5	57.392	28.3946573
1.1		53.00981818	29.78056782
1.2		49.52066667	31.10478863
1.3		46.71846154	32.37489046
1.4	48.5	44.456	33.5970116
1.5		42.62533333	34.7762109
1.6		41.1455	35.91671618
1.7	35.5	39.95458824	37.02210363
1.8		39.00444444	38.09543035
1.9		38.25705263	39.13933405
2		37.682	40.15610945
2.1	41.2	37.25466667	41.14776765
2.2		36.95490909	42.1160629
2.3		36.76688889	43.06262992
2.4		36.67433333	43.98881394
2.5		36.674	44.89889527
2.6	33.0	36.73723077	45.78500917
2.7		36.87362963	46.65718295
2.8		37.07	47.51334946
2.9		37.32013793	48.35435899
3		37.61866667	49.18098911
3.1		37.96090323	49.99395309
3.2		38.34275	50.79390714
3.3		38.76060606	51.58145654
3.4		39.21129412	52.35716107
3.5		39.692	53.12153962
3.6		40.20022222	53.87507427
3.7	41.5	40.73372973	54.61821385

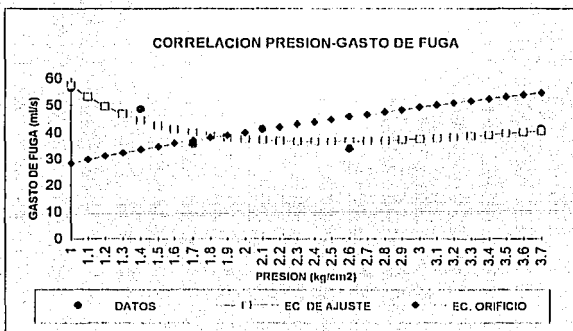


Lámina 32. Presión-gasto de fuga para la cd. de Querétaro, Qro.

QUERETARO, QRO.			
PRESION (kg/cm2)	QI (dato) (ml/s)	QI (Ec. Ajuste) (ml/s)	QI (Ec orificio) (ml/s)
0.9	7.3	12.2446	10.4632926
0.95	15.6	12.50665	10.66945212
1	9.3	12.85	20.51931272
1.05	19.1	13.27465	21.02603672
1.1	13.8	13.7800	21.52083674
1.15	25.4	14.31719	22.0141144
1.2	20.3	15.0394	22.4770600
1.25	19.4	15.78625	22.94128905
1.3	13.1	16.6174	23.3956161
1.35		17.52895	23.94128693
1.4		18.5230	24.27877823
1.45	13.8	19.5985	24.70652440
1.5		20.755	25.13092302
1.55		21.99265	25.54833832
1.6		23.3110	25.9510566
1.65		24.71185	26.35753442
1.7		26.1934	26.75391057
1.75		27.75625	27.14449927
1.8		29.4004	27.52954686
1.85		31.12585	27.90928268
1.9		32.9329	28.28302069
1.95		34.82065	28.65166084
2		36.79	29.01869034
2.05		38.84065	29.37916449
2.1		40.9729	29.73309912
2.15		43.18895	30.08218562
2.2		45.4894	30.42506919
2.25		47.86625	30.77066008
2.3		50.3134	31.11902951
2.35	50.7	52.83185	31.46951074

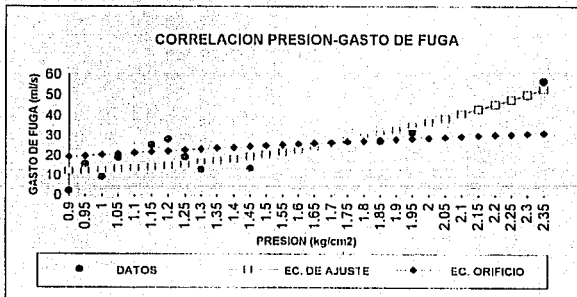


Lámina 33. Presión-gasto de fuga para la céd. de Constitución, B.C.

CONSTITUCION, B. C.			
PRESION (kg/cm <sup>2</sup> )	Qf (diálo) (ml/s)	Qf (Ec. Ajuste) (ml/s)	Qf (Ec. orificio) (ml/s)
0.15	0.2	1.196609167	10.23020613
0.2	12.4	7.54478005	11.81292845
0.25		11.51986822	13.20725552
0.3	13.9	14.30856503	14.46782354
0.35	18.1	16.41928107	15.62703547
0.4	22	18.10627163	16.70500363
0.45	20.1	19.51077857	17.71939268
0.5	20.2	20.71254688	18.67787987
0.55		21.80849534	19.58925594
0.6	22.4	22.73488342	20.46480227
0.65		23.60774027	21.30385963
0.7		24.41893224	22.10588222
0.75		25.16898837	22.87961754
0.8		25.86119201	23.62585691
0.85		26.55942891	24.35297588
0.9		27.20787661	25.05900544
0.95		27.83183656	25.74588066
1		28.43498193	26.41451103
1.05	28.5	29.02028822	27.06681941

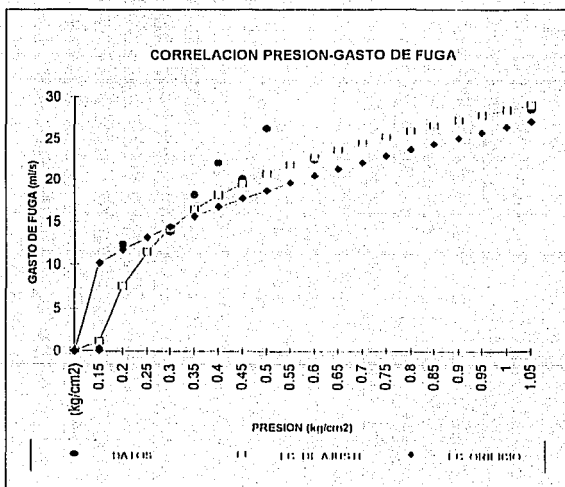


Lámina 34. Presión-gasto de fuga para la cd. de Zacatecas, Zac.

ZACATECAS,ZAC			
PRESION (kg/cm <sup>2</sup> )	Qf(Orificio) (m <sup>3</sup> /s)	Qf (Ec Ajuste) (m <sup>3</sup> /s)	Qf (Ec orificio) (m <sup>3</sup> /s)
1.5	16.77	16.73004125	23.42500418
1.55		17.02908947	23.89317108
1.6		16.58366034	24.24556171
1.65		18.50111089	24.62148431
1.7		20.61482104	24.99175297
1.75	22.07	21.60041715	25.35601530
1.8		22.80000000	25.71630162
1.85		23.04960115	26.07102602
1.9		25.11070057	26.42098833
1.95		26.30090502	26.76637535
2	27	27.48310670	27.10736207
2.05		28.65865606	27.4441124
2.1		29.78233606	27.7778045
2.15		30.86000951	28.10841119
2.2		31.89330124	28.43644119
2.25		32.76700073	28.76166631
2.3		33.54913388	29.08340728
2.35		34.18856157	29.38368029
2.4		34.66670007	29.66462736
2.45		34.96700004	30.00235103
2.5		35.00035425	30.30695214
2.55		35.01440020	30.60852124
2.6		34.75503304	30.80714007
2.65	31.7	34.31065769	31.20291028
2.7	31.70	33.71000000	31.47660000

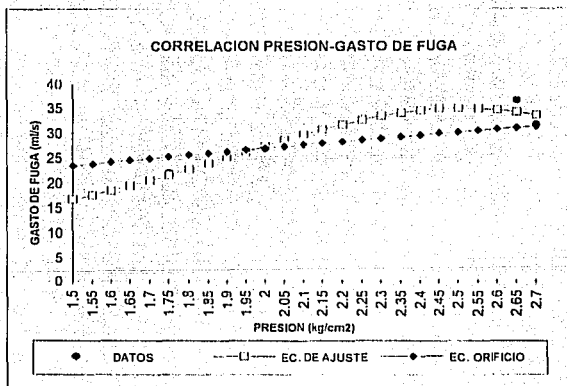
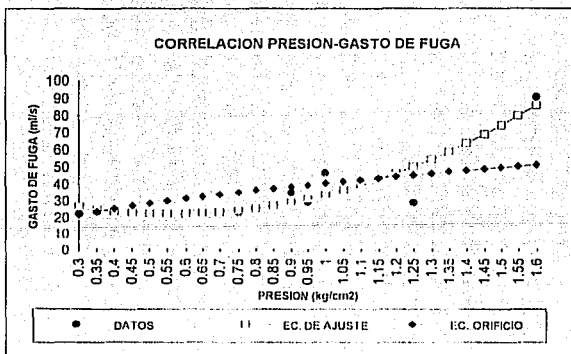




Lámina 35. Presión-gasto de fuga para la cl. de León, Gto.

LEÓN, GTO.			
PRESSION (kg/cm <sup>2</sup> )	Qf(dato) (ml/s)	Qf (Ec. Ajuste) (ml/s)	Qf (Ec. orificio) (ml/s)
0.3	22.4	20.60206	22.35703671
0.35	23.5	25.200415	24.15402433
0.4	25.4	24.10944	25.82237950
0.45		23.305135	27.38876957
0.5		22.7955	28.07029005
0.55		22.580535	30.27042404
0.6		22.68024	31.02967888
0.65		23.014015	32.01720437
0.7		23.70360	34.15079732
0.75	23.8	24.687375	35.35874947
0.8	26.2	25.92576	36.51835942
0.85		27.478815	37.64226320
0.9	35	29.32654	38.73356938
0.95	29.5	31.468935	39.79495958
1	46.9	33.906	40.82876705
1.05		36.637735	41.83703658
1.1		39.66414	42.82157214
1.15		42.985215	43.78397482
1.2		46.60096	44.72567341
1.25	29.1	50.511375	45.64794928
1.3		54.71646	46.55195682
1.35		59.216215	47.43874045
1.4		64.01064	48.30924866
1.45		69.091735	49.16445666
1.5		74.4117	50.00402307
1.55		80.161935	50.83140505
1.6	90.8	86.13504	51.64475917



En la tabla 12, se presenta las expresiones calculadas para obtener el gasto de fuga para 21 ciudades del país, mediante una correlación entre los datos de presión y gasto de fuga, registrados en las mediciones de campo, que se realizaron en dichas ciudades.

Tabla 12. Ecuación de ajuste para calcular el gasto de fuga para diferentes ciudades (mediciones en campo).

CIUDAD	EC. DE REGRESION	ERROR (%)	COEFICIENTE CORRELACION	RANGO DE PRESION (kg/cm <sup>2</sup> )	TIPO DE SUELO
Tuxtla Gtz., Chis.	$Q = 76.31 + 0.240(h^2)$	± 14.40	0.7317	$0.55 \leq P \leq 1.95$	III
Tapanachula, Chis.	$Q = 5628.4 P^{0.9112}$	± 9.90	0.8360	$0.40 \leq P \leq 0.60$	III
Durango, Dgo.	$Q = 38.28 P^{0.9112}$	± 5.90	0.8176	$0.55 \leq P \leq 1.50$	III
Xalapa, Ver.	$Q = \frac{1}{(0.056 + 0.012 P)}$	± 0.60	0.9947	$3.90 \leq P \leq 4.20$	III
Venustauy, Ver.	$Q = \frac{1}{(0.064 + 0.012 P)}$	± 5.42	0.9646	$0.50 \leq P \leq 1.70$	I
Camacho, Camp.	$Q = 48.2 + 104.4 P + 71.1 P^2$	± 16.80	0.9138	$0.40 \leq P \leq 1.50$	II
Los Cabos, B.C.	$Q = 22.09 + 56.63 h^2$	± 7.40	0.9552	$0.80 \leq P \leq 2.70$	I
Coatzacoalcos, Ver.	$Q = \frac{P}{(0.013 P + 0.018)}$	± 2.86	0.6870	$1.60 \leq P \leq 2.90$	I
Cuernavaca, Mor.	$Q = 71.17 - \frac{87.06}{P}$	± 3.60	0.8925	$1.50 \leq P \leq 2.70$	II
Cd. Juárez, Chih.	$Q = 1.94 + \frac{314.81}{P} - \frac{818.72}{P^2}$	± 8.28	0.8337	$1.80 \leq P \leq 3.70$	II
Guaymas, Son.	$Q = 112.04 - \frac{179.91}{P} + \frac{35.94}{P^2}$	± 3.10	0.9629	$0.55 \leq P \leq 1.65$	I
Chihuahua, Chih.	$Q = 46.67 + 26.67 P$	± 3.41	0.8642	$1.55 \leq P \leq 2.00$	II
Villahermosa, Tab.	$Q = 172.77 P^{0.7112}$	± 0.76	0.9496	$0.80 \leq P \leq 1.70$	III
Oaxaca, Oax.	$Q = 11.3 + 9.78 P + 58.83 P^2$	± 6.22	0.7417	$1.00 \leq P \leq 3.70$	II
Quedáhuac, Oax.	$Q = 21.4 + 248.8 P + 163.1 P^2$	± 76.10	0.7213	$0.90 \leq P \leq 2.35$	II
Constitución, H.C.	$Q = 79.2 + 8.7 P - \frac{18}{P}$	± 13.00	0.7910	$0.15 \leq P \leq 1.05$	III
Zacatecas, Zac.	$Q = \frac{1}{0.013 P + 0.018}$	± 3.43	0.9337	$1.50 \leq P \leq 2.70$	I
León, Gto.	$Q = 43.2 + 66.2 P + 68.8 P^2$	± 10.05	0.7946	$0.30 \leq P \leq 1.60$	I

I = tipo de suelo arenoso

II = tipo de suelo arcilloso

III = tipo de suelo arenoso-arcilloso

En la tabla 13, se presenta las expresiones calculadas para obtener el gasto de fuga para 21 ciudades del país, utilizando la ecuación de los orificios para hacer una correlación entre los datos de presión y gasto de fuga, registrados en las mediciones de campo, que se realizaron en dichas ciudades.

Tabla 13. Ecuación del orificio para calcular el gasto de fuga para diferentes ciudades (mediciones en campo).

CUIDAD	E.C. DE REGRESION	ERROR (ml/s)	CORR. COEFICIENTE CORRELACION	RANGO DE PRESION (kg/cm <sup>2</sup> )	TIPO DE SUELO
Tuxtla Gtz., Chi.	$Q = 76.68 \sqrt{P}$	± 16.60	0.7005	0.55 ≤ P ≤ 1.95	III
Tapachula, Chi.	$Q = 67.71 \sqrt{P}$	± 7.73	0.8603	0.40 ≤ P ≤ 0.80	III
Durango, Dgo.	$Q = 35.89 \sqrt{P}$	± 8.14	0.7089	0.55 ≤ P ≤ 1.60	III
Xalapa, Ver.	$Q = 47.67 \sqrt{P}$	± 12.69	0.7019	3.90 ≤ P ≤ 4.20	III
Veracruz, Ver.	$Q = 39.10 \sqrt{P}$	± 7.43	0.7999	0.50 ≤ P ≤ 1.70	I
Campesino, Camp.	$Q = 21.56 \sqrt{P}$	± 5.07	0.6926	0.40 ≤ P ≤ 1.50	II
Los Cabos, B.C.	$Q = 36.89 \sqrt{P}$	± 7.25	0.8820	0.80 ≤ P ≤ 2.70	I
Coahuila, Ver.	$Q = 31.82 \sqrt{P}$	± 9.50	0.8773	1.60 ≤ P ≤ 2.90	I
Guerrero, Mnt.	$Q = 28.24 \sqrt{P}$	± 8.48	0.9633	1.50 ≤ P ≤ 2.70	II
Cd. Juárez, Chih.	$Q = 23.55 \sqrt{P}$	± 8.74	0.6997	1.80 ≤ P ≤ 3.70	II
Guaymas, Son.	$Q = 28.52 \sqrt{P}$	± 7.20	0.7035	0.55 ≤ P ≤ 1.65	I
Chihuahua, Chih.	$Q = 70.02 \sqrt{P}$	± 14.90	0.8250	1.55 ≤ P ≤ 2.00	II
Villahermosa, Tab.	$Q = 100.17 \sqrt{P}$	± 15.10	0.8147	0.80 ≤ P ≤ 1.70	III
Oaxaca, Oax.	$Q = 28.40 \sqrt{P}$	± 11.53	0.8867	1.00 ≤ P ≤ 3.70	II
Querétaro, Qro.	$Q = 20.52 \sqrt{P}$	± 7.18	0.7183	0.90 ≤ P ≤ 2.35	II
Constitución, B.C.	$Q = 26.41 \sqrt{P}$	± 4.54	0.9026	0.15 ≤ P ≤ 1.05	III
Zacatecas, Zac.	$Q = 19.17 \sqrt{P}$	± 6.95	0.8121	1.50 ≤ P ≤ 2.70	II
León, Gto.	$Q = 40.83 \sqrt{P}$	± 10.41	0.7300	0.30 ≤ P ≤ 1.60	I

I = tipo de suelo arenoso

II = tipo de suelo arcilloso

III = tipo de suelo arenoso-arcilloso

En el cálculo de las expresiones anteriores (para las 21 ciudades), los términos que aparecen en las láminas correspondientes, a cada una de las ciudades representan:

$Q_{i(\text{dato})}$  = gasto de fuga registrado en campo para una presión determinada, en (ml/s).

$Q_{i(\text{Ec. A})}$  = gasto de fuga calculado con la ecuación de ajuste correspondiente para cada ciudad, en base a los registros de campo, del gasto de fuga en una toma, para una presión determinada, en (ml/s).

$Q_{i(\text{orificio})}$  = gasto de fuga calculado con la ecuación del orificio correspondiente para cada ciudad, en base a los registros de campo, del gasto de fuga en una toma, para una presión determinada, en (ml/s).

Considerando el tipo de suelo característico de cada una de las ciudades (tabla 10), se agruparon para obtener las expresiones generales del cálculo de gasto de fuga, para diferentes tipos de suelo. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 14. Cálculo del gasto de fuga para suelo arenoso (mediciones en campo)

TIPO DE SUELO: ARENOSO			
PRESSION (kg/cm <sup>2</sup> )	Q(Rdato) (ml/s)	Q(Rc.Ajuste) (ml/s)	Q(Rc.orificio) (ml/s)
0.5	21.5	17.25	23.14918159
0.6	11	18.58666667	25.57774692
0.7	21.2	21.64346939	27.62712424
0.8	23.8	25.085625	29.53463813
0.9	35	28.4407407	31.32621436
1	46.9	31.56	33.02072928
1.1	33.7	34.3931405	34.63243304
1.2	32.4	36.94916667	36.17239658
1.3	29.1	39.25047337	37.64942404
1.4	53.2	41.32408163	39.07065378
1.5	45.2	43.19666667	40.44196884
1.6	50	44.89265625	41.76828581
1.7		46.43366782	43.05376355
1.8	45	47.83851852	44.3019572
1.9	48.2	49.1234626	45.51593422
2	47.1	50.3025	46.69836319
2.1	51.2	51.38768707	47.85158284
2.2		52.38912149	48.97765651
2.3		53.31669187	50.07811544
2.4		54.17729167	51.15549383
2.5		54.978	52.21035726
2.6		55.72473373	53.2443261
2.7		56.4226749	54.25859488
2.8		57.07617755	55.25424647
2.9	53.6	57.68985731	56.2322757

Lámina 36. Gasto de fuga-tipo de suelo arenoso (mediciones en campo).

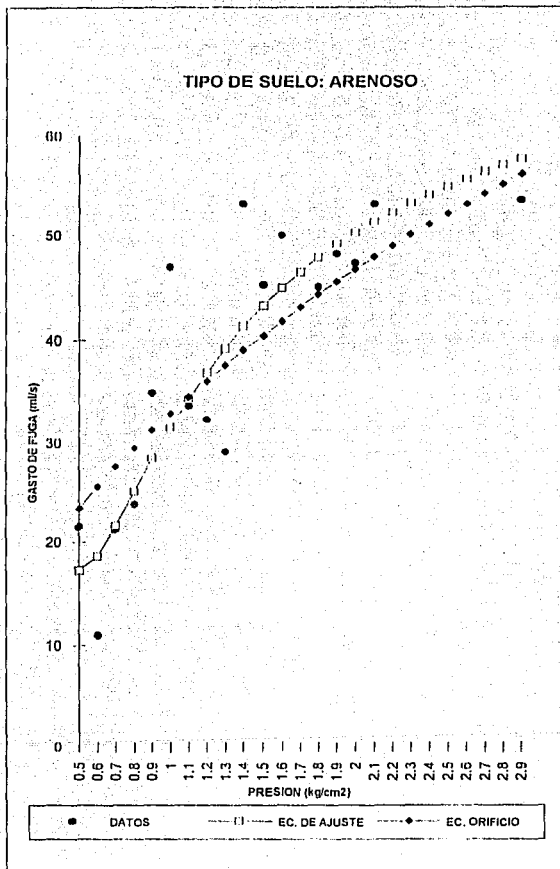


Tabla 15. Cálculo del gasto de fuga para suelo arcilloso (mediciones en campo).

TIPO DE SUELO: ARCILLOSO			
PRESION (kg/cm <sup>2</sup> )	QI(dato) (ml/s)	QI(Ec.Ajuste) (ml/s)	QI(Ec.ortificio) (ml/s)
0.3	8.7	10.98825197	13.11984126
0.4	21	13.13380688	15.14948776
0.5	19	15.0825521	16.93764223
0.6	13.2	16.88757174	18.55425744
0.7	15.5	18.58121962	20.0408856
0.8		20.18502184	21.42461106
0.9		21.71419769	22.72421165
1	19.1	21.18	21.95341116
1.1	24.72	24.59104001	25.12258334
1.2	19.4	25.95400987	26.23968252
1.3	27.9	27.27459497	27.31112747
1.4	44	28.55701527	28.3420964
1.5	28.8	29.80506081	29.33685691
1.6		31.02185909	30.29897553
1.7	35.5	32.21007699	31.23146911
1.8	39.4	33.37201152	32.13691659
1.9	27.5	34.50965871	33.01754311
2	36.7	35.6247667	33.87528447
2.1	41.2	36.71887734	34.71183721
2.2	36.31	37.79315907	35.52869808
2.3		38.84941347	36.32719549
2.4		39.88819658	37.10851489
2.5		40.91063655	37.87371941
2.6	44.8	41.91364809	38.62336687
2.7	47.8	42.91001355	39.35952177

Lámina 37. Gasto de fuga-tipo de suelo arcilloso (mediciones en campo).

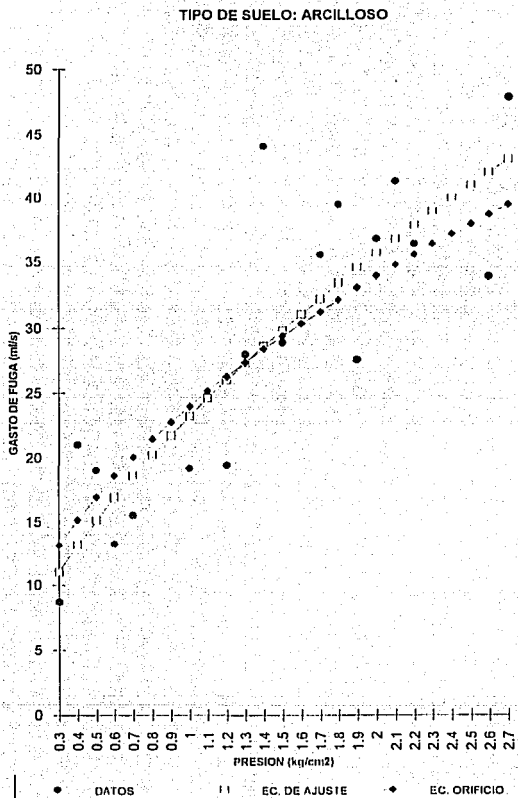


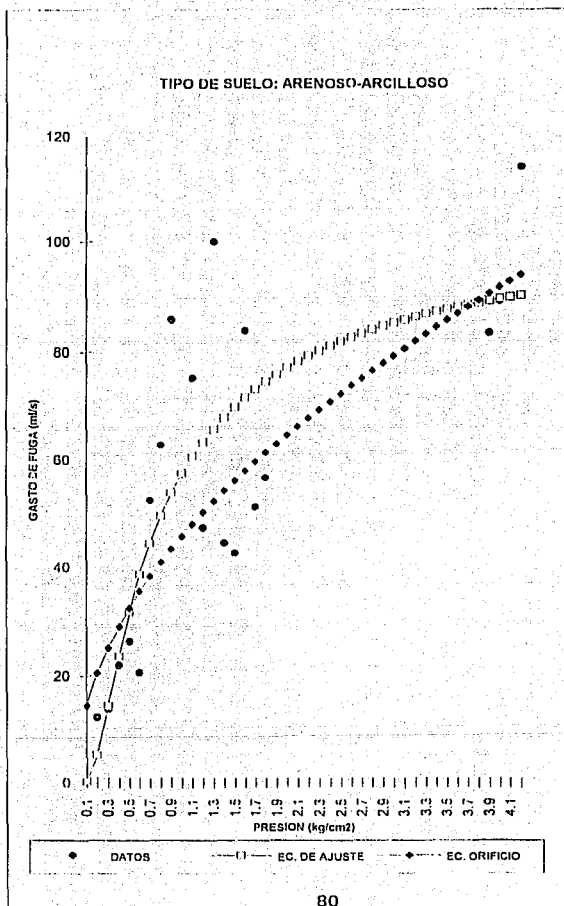


Tabla 16. Cálculo del gasto de fuga para suelo arenoso arcilloso (mediciones en campo)

TIPO DE SUELO: ARENOSO-ARCILLOSO			
PRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	QH (dato) (ml/s)	QH (c. Ajuste) (ml/s)	QH (c. coeficiente) (ml/s)
0.1	0.2	0.277672159	1.48406749
0.2	12.4	5.369164142	20.48356468
0.3	13.9	14.41113309	25.08714079
0.4	22	23.60988397	28.96813497
0.5	26.2	31.74909108	32.38715949
0.6	20.7	38.68027711	35.47857474
0.7	52.4	44.53951646	38.32124054
0.8	62.8	49.50937441	40.96712935
0.9	85.8	53.75514768	43.45220246
1	57.2	57.41246	45.80264304
1.1	75.2	60.5891389	48.03821729
1.2	47.4	63.37023252	50.17428157
1.3	100	65.82294047	52.223048
1.4	44.6	68.18068087	54.1944181
1.5	42.7	69.94625155	56.09655216
1.6	83.8	71.69423443	57.93626993
1.7	51.2	73.27281129	59.7193401
1.8	56.6	74.70514997	61.45069403
1.9		76.01043167	63.13458646
2		77.20467342	64.77471898
2.1		78.30133783	66.37433563
2.2		79.31181753	67.93629804
2.3		80.24581384	69.46314744
2.4		81.11163628	70.95714948
2.5		81.91644132	72.42033743
2.6		82.66642414	73.85454275
2.7		83.36697363	75.26142236
2.8		84.02279862	76.64248108
2.9		84.64803121	77.99900309
3		85.23631203	79.33258487
3.1		85.78086179	80.64387478
3.2		86.27458571	81.93125871
3.3		86.75988009	83.20163305
3.4		87.21916092	84.45590074
3.5		87.65414994	85.68859808
3.6		88.06752346	86.90140492
3.7		88.4606095	88.10314299
3.8		88.83356919	89.28578043
3.9	83.4	89.18947272	90.45297246
4	89.1	89.52820598	91.60528608
4.1		89.85268113	92.74128158
4.2	114.1	90.16242524	93.86748564

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Lámina 38. Gasto de fuga-tipo de suelo arenoso-arcilloso (mediciones en campo).



En la tabla 17, se presentan los resultados obtenidos del análisis de los datos (21 ciudades) de las mediciones en campo por tipo de suelo (tabla 10), en donde la ecuación de ajuste es resultado de una correlación entre la presión y el gasto de fuga.

Tabla 17. Ecuación de ajuste para calcular el gasto de fuga para diferentes tipos de suelo.

TIPO DE SUELO	EC. DE AJUSTE	ERROR (%)	COEF. DE CORRELACION	RANGO DE PRESION (kg/cm <sup>2</sup> )
ARENOSO	$Q = 78.72 \cdot \frac{P^{0.54}}{P} - \frac{15.45}{P}$	± 12.95	0.7655	0.50 ≤ P ≤ 2.90
ARCILLOSO	$Q = 23.12 \cdot P^{0.52}$	± 18.38	0.7014	0.30 ≤ P ≤ 2.70
ARENOSO-ARCILLOSO	$Q = 103.22 \cdot P^{0.553}$	± 28.70	0.8023	0.10 ≤ P ≤ 4.20

En la tabla 18, se presentan los resultados obtenidos del análisis de los datos (21 ciudades) de las mediciones en campo por tipo de suelo, utilizando la ecuación de los orificios, para el cálculo del gasto de fuga.

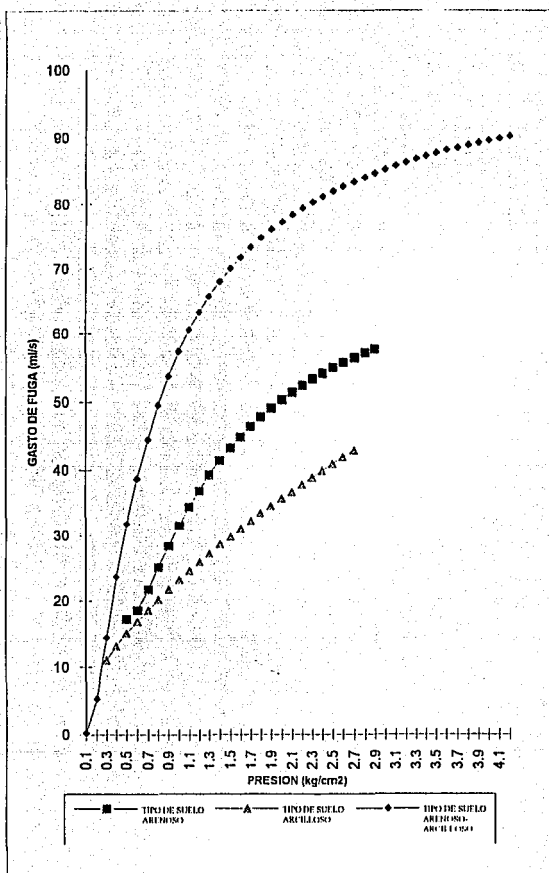
Tabla 18. Ecuación de los orificios para calcular el gasto de fuga, para diferentes tipos de suelo.

TIPO DE SUELO	EC. DE ORIFICIO	ERROR (ml/s)	COEF. DE CORRELACION	RANGO DE PRESION (kg/cm <sup>2</sup> )
ARENOSO	$Q = 33.02 \cdot \sqrt{P}$	± 10.79	0.7906	0.50 ≤ P ≤ 2.90
ARCILLOSO	$Q = 23.95 \cdot \sqrt{P}$	± 7.36	0.7708	0.30 ≤ P ≤ 2.70
ARENOSO-ARCILLOSO	$Q = 45.63 \cdot \sqrt{P}$	± 21.81	0.9310	0.10 ≤ P ≤ 4.20

Tabla IV. Distribución de tipos de tipos de las variables de origen de los datos en el estudio

Variable	Tipo de variable		
	Categorial	Ordinal	Numérica
1			02761219
2			51661612
3		05462519	24111131
4		11111111	21111111
5	121	11111111	11111111
6	13111111	11111111	11111111
7	14111111	11111111	11111111
8	15111111	11111111	11111111
9	16111111	11111111	11111111
10	17111111	11111111	11111111
11	18111111	11111111	11111111
12	19111111	11111111	11111111
13	20111111	11111111	11111111
14	21111111	11111111	11111111
15	22111111	11111111	11111111
16	23111111	11111111	11111111
17	24111111	11111111	11111111
18	25111111	11111111	11111111
19	26111111	11111111	11111111
20	27111111	11111111	11111111
21	28111111	11111111	11111111
22	29111111	11111111	11111111
23	30111111	11111111	11111111
24	31111111	11111111	11111111
25	32111111	11111111	11111111
26	33111111	11111111	11111111
27	34111111	11111111	11111111
28	35111111	11111111	11111111
29	36111111	11111111	11111111
30	37111111	11111111	11111111
31	38111111	11111111	11111111
32	39111111	11111111	11111111
33	40111111	11111111	11111111
34	41111111	11111111	11111111
35	42111111	11111111	11111111
36	43111111	11111111	11111111
37	44111111	11111111	11111111
38	45111111	11111111	11111111
39	46111111	11111111	11111111
40	47111111	11111111	11111111
41	48111111	11111111	11111111
42	49111111	11111111	11111111
43	50111111	11111111	11111111
44	51111111	11111111	11111111
45	52111111	11111111	11111111
46	53111111	11111111	11111111
47	54111111	11111111	11111111
48	55111111	11111111	11111111
49	56111111	11111111	11111111
50	57111111	11111111	11111111
51	58111111	11111111	11111111
52	59111111	11111111	11111111
53	60111111	11111111	11111111
54	61111111	11111111	11111111
55	62111111	11111111	11111111
56	63111111	11111111	11111111
57	64111111	11111111	11111111
58	65111111	11111111	11111111
59	66111111	11111111	11111111
60	67111111	11111111	11111111
61	68111111	11111111	11111111
62	69111111	11111111	11111111
63	70111111	11111111	11111111
64	71111111	11111111	11111111
65	72111111	11111111	11111111
66	73111111	11111111	11111111
67	74111111	11111111	11111111
68	75111111	11111111	11111111
69	76111111	11111111	11111111
70	77111111	11111111	11111111
71	78111111	11111111	11111111
72	79111111	11111111	11111111
73	80111111	11111111	11111111
74	81111111	11111111	11111111
75	82111111	11111111	11111111
76	83111111	11111111	11111111
77	84111111	11111111	11111111
78	85111111	11111111	11111111
79	86111111	11111111	11111111
80	87111111	11111111	11111111
81	88111111	11111111	11111111
82	89111111	11111111	11111111
83	90111111	11111111	11111111
84	91111111	11111111	11111111
85	92111111	11111111	11111111
86	93111111	11111111	11111111
87	94111111	11111111	11111111
88	95111111	11111111	11111111
89	96111111	11111111	11111111
90	97111111	11111111	11111111
91	98111111	11111111	11111111
92	99111111	11111111	11111111
93	10011111	11111111	11111111

Lámina 39. Presión-gasto de fuga, por tipo de suelo con la ecuación de ajuste (mediciones en campo)



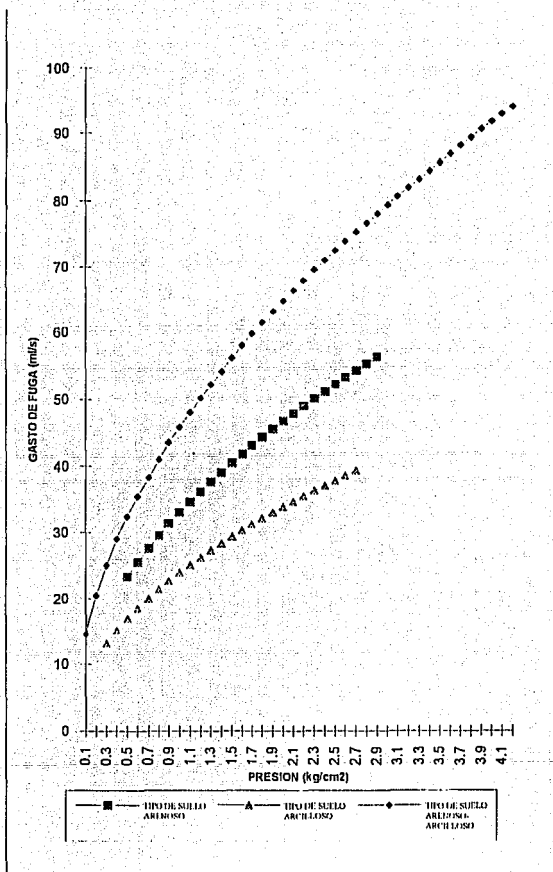
De la lámina 39, puede hacerse el análisis siguiente:

- a) El gasto de fuga es mayor conforme aumenta la presión.
- b) El intervalo de presión válido para la ecuación de ajuste del tipo de suelo arenoso es  $0.5 \leq P \leq 2.9 \text{ kg/cm}^2$ .
- c) El intervalo de presión válido para la ecuación de ajuste del tipo de suelo arcilloso es  $0.3 \leq P \leq 2.7 \text{ kg/cm}^2$ .
- d) El intervalo de presión válido para la ecuación de ajuste del tipo de suelo arenoso-arcilloso es  $0.1 \leq P \leq 4.2 \text{ kg/cm}^2$ .
- e) En promedio el gasto de fuga del suelo arenoso-arcilloso es mayor en un 38.8 %, respecto al del suelo arenoso.
- f) En promedio el gasto de fuga del suelo arenoso-arcilloso es mayor en un 53.5 %, respecto al del suelo arcilloso.
- g) En promedio el gasto de fuga del suelo arenoso es mayor en un 25.7 %, respecto al del suelo arcilloso.
- h) Un factor que influye para que el gasto de fuga sea menor en el tipo de suelo arcilloso, es que es el menos poroso de los tipos de suelo considerados, por lo cual, el agua que escapa por una fuga, fluye con menor velocidad en estos tipos de suelo; además la arcilla al estar en contacto con el agua se expande, produciendo esfuerzos alrededor de la tubería los cuales, reducen el gasto de fuga, por la interacción suelo-tubería.
- i) El gasto de fuga en el tipo de suelo arenoso-arcilloso, puede variar dependiendo de la proporción, de tipo de suelo predominante que se tenga en ésta relación, es decir, si el suelo es más arenoso que arcilloso o viceversa, ya que de ello dependerá que el agua fluya más o menos rápido, en el primer caso el gasto de fuga es mayor, mientras que para el segundo es menor.

Tabla 20 Presión costo de fuga (por tipo de suelo con la ecuación de los edificios)(mediciones en campo)

REGION (km2)	TIPO DE SUELO		
	ARENOSO GASTO DE FUGA (m4/s)	ARCILLOSO GASTO DE FUGA (m4/s)	ARENOSO ARCILLOSO GASTO DE FUGA (m4/s)
01			14 4832316
02			25 4814824
03		15 3116152	21 0454912
04		14 1191996	26 8661655
05	21 1186670	14 9113031	12 1814604
06	25 1218202	16 5419609	15 1162314
07	27 2311104	20 0104514	18 1190292
08	26 4119091	21 0211122	40 0415613
09	11 1211221	22 2204139	11 1104044
10	11 01	21 91	41
11	11 0116045	24 1101930	40 014 612
12	26 1211921	16 2110101	20 10 1862
13	11 0119091	12 1012011	12 2211111
14	10 1001904	20 1101210	14 1012040
15	10 1101141	20 1120104	14 0111111
16	41 1011411	10 2001904	17 0120214
17	41 0112124	11 2101912	10 1120044
18	41 3001917	12 1122041	11 4012401
19	41 1102109	11 0121941	11 1106412
20	44 0113101	11 1011401	11 1001101
21	42 0114202	11 1001111	11 1011111
22	40 0111101	11 1211011	17 1121101
23	10 0113101	11 1101111	10 1101101
24	11 1114011	12 1101101	10 1101101
25	12 2001101	12 1001101	12 1101101
26	11 1111101	11 1001101	11 1101101
27	11 1111101	11 1101111	11 1111101
28	11 1111101	11 1101101	11 1101101
29	11 1111101	11 1101101	11 1101101
30			11 1101101
31			11 1101101
32			11 1101101
33			11 1101101
34			11 1101101
35			11 1101101
36			11 1101101
37			11 1101101
38			11 1101101
39			11 1101101
40			11 1101101
41			11 1101101
42			11 1101101

Lámina 40. Presión gasto de fuga por tipo de suelo, con la ecuación de los orificios (mediciones en campo).





De la lámina 40, puede hacerse el análisis siguiente:

- a) El gasto de fuga es mayor conforme aumenta la presión.
- b) El intervalo de presión válido para la ecuación de los orificios del tipo de suelo arenoso es  $0.5 \leq P \leq 2.9 \text{ kg/cm}^2$ .
- c) El intervalo de presión válido para la ecuación de los orificios del tipo de suelo arcilloso es  $0.3 \leq P \leq 2.7 \text{ kg/cm}^2$ .
- d) El intervalo de presión válido para la ecuación de los orificios del tipo de suelo arenoso-arcilloso es  $0.1 \leq P \leq 4.2 \text{ kg/cm}^2$ .
- e) En promedio el gasto de fuga del suelo arenoso-arcilloso es mayor en un 27.9 %, respecto al del suelo arenoso.
- f) En promedio el gasto de fuga del suelo arenoso-arcilloso es mayor en un 47.7 %, respecto al del suelo arcilloso.
- g) En promedio el gasto de fuga del suelo arenoso es mayor en un 27.5 %, respecto al del suelo arcilloso.
- h) Un factor que influye para que el gasto de fuga sea menor en el tipo de suelo arcilloso, es que es el menos poroso de los tipos de suelo considerados, por lo cual, el agua que escapa por una fuga, fluye con menor velocidad en estos tipos de suelo; además la arcilla al estar en contacto con el agua se expande, produciendo esfuerzos alrededor de la tubería los cuales, reducen el gasto de fuga, por la interacción suelo-tubería.
- i) El gasto de fuga en el tipo de suelo arenoso-arcilloso, puede variar dependiendo de la proporción, de tipo de suelo predominante que se tenga en ésta relación, es decir, si el suelo es más arenoso que arcilloso o viceversa, ya que de ello dependerá que el agua fluya más o menos rápido, en el primer caso el gasto de fuga es mayor, mientras que para el segundo es menor.

A continuación se presenta el análisis de varianza.

ANALISIS DE VARIANZA

TIPO DE MATERIAL (A)	PRESION (B)									Yi
	P=0.5 kg/cm <sup>2</sup>			P=1.5 kg/cm <sup>2</sup>			P=3.0 kg/cm <sup>2</sup>			
TIPO DE SUELO (A)	PEAD	Fo.Go	COBRE	PEAD	Fo.Go	COBRE	PEAD	Fo.Go	COBRE	
ARENOSO	11 32.5	27.8 56.7	15.4 54.3	50 84.9	44.8 87.57	90.8 140.8	53.6 111.2	57.2 112.52	79.5 140.12	820.61
ARCILLOSO	12.8 28.05	19 51.5	13.3 38.9	24.5 80.9	44 77.6	91 178.2	31.75 62.25	47.3 94.1	56.7 88.2	704.71
ARENOSO-ARCILLOSO	15.25 44.9	32.5 62.8	15.1 55.1	25.4 88.22	33.5 231.7	87.2 179.25	31.5 88.5	50.3 112.48	31.5 177.53	1169.3
TOTALES B x C y A	105.45	260.5	187.2	254.02	396.87	498.25	252.57	333.1	405.85	2694.62
Yi		553.25			1149.15			992.22		

TOTALES

AXB:Yij

	A	B	C
ARENOSO	0.5	1.5	3
ARENOSO	143.5	313.27	363.84
ARCILLOSO	118.45	336.7	249.56
ARENOSO-ARCI	291.3	499.18	378.82
SUMA	553.25	1149.15	992.22

AXC:Yi.k

	A	B	C
ARENOSO	228.6	256.72	335.22
ARCILLOSO	172.21	227.2	305.3
ARENOSO-ARCILLOSO	221.93	496.55	450.79
SUMA	622.74	980.57	1091.31

$Y^2/abcn$  134463  
 SSA= 6497.43  
 SSB= 10600.3  
 SSC= 6664.14  
 SSAB= 1494.41  
 SSBC= 2071.28  
 SSAC= 3061.22  
 SSABC= 3646.03

SSSUBTOTALES(ABC)= 34034.9

SST= 36902.6

SSE= 2867.91

TABLA 21. ANALISIS DE VARIANZA

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	MS	Fo
TIPO DE SUELO	6497.43	2	3248.72	30.5851
PRESENCIA	10600.3	2	5300.15	49.89838
TIPO DE MAT.	6664.14	2	3332.07	31.36984
AB	1494.41	4	373.603	3.517289
AC	3061.22	4	765.305	7.20498
BC	2071.28	4	517.82	4.875027
ABC	3646.03	8	455.754	4.290703
ERROR	2867.91	27	106.219	
TOTAL	36902.72	53		

El análisis de varianza se realizó considerando:

- a) Tres tipos de suelo: arenoso, arcilloso y arenoso-arcilloso.
- b) Tres tipos de material del ramal de la toma domiciliaria: PEAD, Fo.Go. y cobre.
- c) Tres niveles de presión: 0.5 kg/cm<sup>2</sup>, 1.5 kg/cm<sup>2</sup> y 3.0 kg/cm<sup>2</sup>.
- d) Dos corridas.

De la tabla 21, del análisis de varianza se observa:

1) Los efectos principales, como los de interacción entre tipos de suelo, presión y tipos de materiales, son estadísticamente significativos al nivel 0.05, ya que de la tabla de la distribución F, se tiene que  $F_{0.05,2,27} = 3.35$ ,  $F_{0.05,4,27} = 2.73$ ,  $F_{0.05,8,27} = 2.31$  y en todos los casos  $F < F_0$  (tabla 21).

2) Los efectos principales (tipos de suelo, presión, tipos de materiales), son estadísticamente significativos al nivel 0.10, ya que de la tabla de la distribución F, se tiene que:  $F_{0.10,2,27} = 5.5$ ,  $F_{0.10,4,27} = 4.12$ ,  $F_{0.10,8,27} = 3.26$  y en todos los casos  $F_0 > F$  (tabla 21).

3) Los efectos de interacción entre tipo de suelo, presión y tipo de material, son a excepción de la interacción tipo de suelo-presión, estadísticamente significativos al nivel 0.10, ya que de la tabla de la distribución F, se tiene que:  $F_{0.10,2,27} = 5.5$ ,  $F_{0.10,4,27} = 4.12$ ,  $F_{0.10,8,27} = 3.26$  y en todos los casos (excepto la interacción tipo de suelo-presión),  $F_0 > F$  (tabla 21).

4) El efecto principal más importante es la presión; el segundo más importante es el tipo de material y el tercero es el tipo de suelo.

5) El efecto de interacción más importante es la relación tipo de suelo-tipo de material, la interacción presión-tipo de material es el segundo y la interacción tipo de suelo-presión-tipo de material es el tercero.

## CAPITULO 4. SELECCIÓN DE TOMAS DOMICILIARIAS

### 4.1 Criterios de selección para tomas domiciliarias

Los tipos de tomas comúnmente usadas [1] 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 modificador de agua.

Para la instalación de una toma se debe considerar las condiciones de trabajo a que estará sometida, ya que las características del lugar en donde se ubique pueden ser desfavorables para un determinado tipo de material, y en consecuencia un rápido deterioro de la misma.

Por el tipo de material de la tubería del ramal, las tomas domiciliarias pueden ser de: PEAD, Fo.Go., cobre o combinadas como se muestra en la lámina 41.

Con los criterios de selección para tomas, se busca contar con las condiciones más favorables, para que la instalación cumpla con su vida útil.

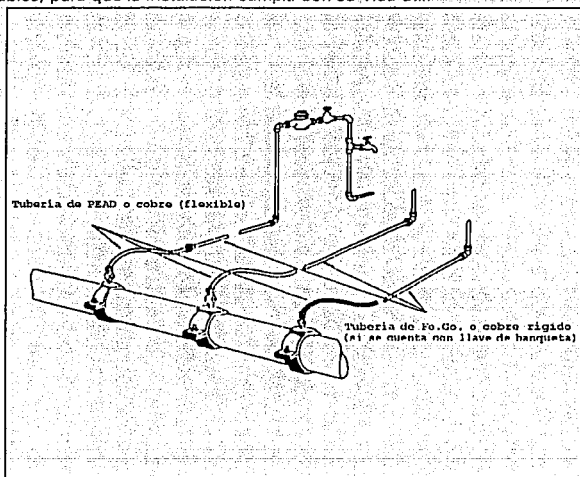


Lámina 41. Tomas domiciliarias tipo.

Con base en una evaluación de algunos parámetros de la zona donde se instalará la toma, se determina el tipo de material para su instalación. A continuación se presentan algunos de ellos [1]:

### 1.- Parámetros que determinan la agresividad de un suelo:

El parámetro más significativo para que se desarrolle la corrosión externa, en una toma de componentes metálicos es la resistividad del suelo, la cual varía con la humedad; si el lugar en donde se encuentra o se realizará la instalación de la toma presenta una resistividad menor a 1000 ohm cm y el material es metálico, para protegerlo se recomienda cubrir el ramal de la toma con una capa de material seleccionado (arena, petatillo, tezontle) de 20 cm de espesor (previa instalación de plantilla), libre de piedras o raíces; o bien, encamisar la tubería con manguera y proteger perfectamente sus conexiones. Otro parámetro importante es el potencial de hidrógeno (pH), el cual indica la resistencia que presenta un medio para que se de un intercambio catiónico, en este caso, entre la tubería y el suelo.

### 2.- Condiciones hidráulicas de funcionamiento

- a) presión interna
- b) operación de válvulas

El volumen de fuga es mayor en zonas de alta presión, por lo cual, se recomienda que la presión de trabajo sea menor a 5 kg/cm<sup>2</sup> (50 mca).

### 3.- La selección del tipo de material de una tubería para toma domiciliaria debe considerar:

- a) alta resistencia mecánica contra:
  - Congelación
  - Fuerzas externas
  - Vibraciones y fatiga
  - Presión hidráulica interna
- b) capacidad de flujo
- c) conexiones y accesorios.
- d) flexibilidad
- e) métodos y costos de instalación.

En la tabla 22, se presentan algunos criterios que permiten realizar su selección.

Tabla 22. Criterios de selección para el tipo de material de la toma [1,8].

Parámetro	Materiales		
	PEAD	Cobre	Fo. Go.
Resistividad del suelo (R)			
0 < R < 1000	+	-	-
1000 < R < 4500	+	-	-
4500 < R < 6000	+	+	-
6000 < R < 100000	-	+	+
pH del suelo			
pH < 4.0	-	-	-
4.0 < pH < 8.5	+	+	+
pH > 8.5	+	-	-
Presión hidráulica interna (P)			
P < 5 kg/cm <sup>2</sup>	+	+	+
P > 5 kg/cm <sup>2</sup>	-	-	+
Resistencia mecánica contra:			
Completón	+	+	+
Fuerzas externas	+	+	+
Vibraciones y fatiga	+	-	+
Conexiones y accesorios	-	+	+
Flexibilidad	+	+	+
Humedad del suelo			
Saturado	+	-	-
Generalmente húmedo	+	-	-
Generalmente seco	+	-	-

NOTAS: + Condiciones favorables para el tipo de material de la toma.  
 - Condiciones no favorables para el tipo de material de la toma.

#### 4.2 Alternativas de diseño

Existen varias alternativas de instalación de una toma domiciliaria, pero el tipo y el número de componentes (considerando los criterios de selección del punto 4.1) lo determina principalmente la zona en la que se realizará la instalación (urbana o rural). En las tablas 23 y 24, se presentan los componentes de una toma para zona urbana y rural respectivamente [1]:

Tabla 23. Componentes de una toma domiciliaria para zona urbana [1].

TOMA DOMICILIARIA	RAMAL	CUADRO
ZONA URBANA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abrazadera o solleta</li> <li>- Inyector</li> <li>- Válvula de inserción (**)</li> <li>- Tubería de villa</li> <li>- Llave de llanqueta (**)</li> <li>- Caja de llave de banqueta (**)</li> <li>- Tubería rígida</li> <li>- Codo inferior del vertical</li> <li>- Conectores y repis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tramos de tubería rígida colocados en posición horizontal y vertical.</li> <li>- Codos de 90°</li> <li>- Medidor</li> <li>- Adaptadores</li> <li>- Válvula de globo</li> <li>- Tee (o rincón)</li> <li>- Llave de manguera</li> <li>- Tapón al final de la toma</li> </ul>

Tabla 24. Componentes de una toma domiciliar para zona rural (1).

TOMA DOMICILIARIA	RAMAL	CUADRO
ZONA RURAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abrazadera o sillón</li> <li>- Inyector</li> <li>- Tubería flexible</li> <li>- Tubería rígida</li> <li>- Codo interior del vertical</li> <li>- Conexiones y tapas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tramos de tubería rígida colocados en posición horizontal y vertical.</li> <li>- Codos de 90°</li> <li>- Medidor (*)</li> <li>- Adaptadores</li> <li>- Válvula de esfera</li> <li>- Llave de banco</li> <li>- Llave de manivela</li> <li>- Tapón al final de la toma</li> </ul>

**NOTAS:**

(\*) Estas piezas son opcionales y su uso queda a criterio del Organismo Operador.

Cuando no se utilice la llave de banco en el ramal, ésta puede colocarse en el cuadro de la toma, antes del medidor, para que de esta manera cumpla con la función de elemento de cierre, para limitar el flujo de agua y dar mantenimiento al medidor, como se muestra en la lámina 1.

Pueden realizarse diferentes combinaciones de los componentes de una toma domiciliar con varios tipos de materiales y obtener diferentes diseños de las mismas, para realizarlas deberán de considerarse las recomendaciones de instalación que se presentan en el capítulo 5.



## 5. INSTALACION DE TOMAS DOMICILIARIAS

### 5.1 Etapas de construcción

Las etapas de construcción tienen como finalidad, prevenir las fallas que se presentan en tomas domiciliarias, debidas a los efectos de las cargas externas, por no contar la instalación, con las condiciones físicas adecuadas [1].

La construcción de la toma, puede realizarse en alguna de las siguientes condiciones:

- Durante el tendido de la red.
- Posterior a la instalación de la red, esté o no en operación.

#### 5.1.1 Localización

Si la construcción de la toma es posterior a la instalación de la red, localizar con la mayor precisión posible la ubicación de la tubería de distribución, mediante la consulta de los planos de la obra terminada del sistema o bien, en campo mediante la ubicación de las cajas para operación de válvulas, que limitan la zona en que se instalará la toma, obteniendo de esta forma la localización aproximada de la tubería.

Una vez localizada la red de distribución, la selección del lugar en donde se realizará la zanja para la instalación de la toma, será en línea recta al lugar en donde estará ubicado el cuadro dentro del predio, esta línea será perpendicular en todos los casos a la red de distribución.

#### 5.1.2 Trazo

Se puede realizar con un hilo o cuerda, tendida y tensada en el tramo que se hará la excavación. Se marca con cal las dos líneas paralelas, separadas entre sí 40 o 45 cm de manera que no se pierda la línea al iniciar la excavación. Si no hay pavimento, el trazo se puede hacer picando el terreno con un zapapico, a lo largo de una cuerda tendida.

#### 5.1.3 Ruptura de pavimento

Siempre que sea posible, el material de la ruptura del pavimento se colocará en un solo lado de la zanja, utilizando el lado más amplio para acumular el producto de la excavación, con el objeto de no mezclar los materiales. Se recomienda que se utilice disco cortador en pavimentos de asfalto y de concreto.

Los pavimentos generalmente son empedrados, adoquinados, de asfalto o concreto; se puede utilizar el material de la ruptura del pavimento para su reconstrucción, en la parte superior del relleno (previamente compactado para prevenir asentamientos posteriores).

#### 5.1.4 Excavación

La excavación se realiza aflojando el material manualmente o con equipo mecánico (retroexcavadora, o máquina zanjadora). La zanja debe permitir la instalación de la tubería y tener una profundidad adecuada para protegerla de cargas vivas o impacto en la superficie, así como efectos del medio ambiente. En la tabla 25, se presentan las dimensiones recomendadas para la zanja, para cualquier tipo de material de la toma.

Tabla 25. Dimensiones recomendadas para la zanja [1].

Ancho mínimo (cm)	Ancho máximo (cm)	Prof. mínima (cm)	Prof. máxima (cm)
40	50	30	60

La excavación de la zanja para la instalación de la tubería incluye: afloje y extracción del material; limpieza y conformación del fondo, así como la conservación de la misma hasta la instalación final de la toma.

#### 5.1.5 Clasificación del material excavado

El material excavado se clasifica dependiendo de su dureza, se entiende por "material común": tierra, grava, arcilla y limo, o bien, todos aquellos materiales que puedan ser aflojados manualmente con el uso del zapapico, así como todas las fracciones de roca y piedras sueltas.

En una clasificación intermedia se incluyen materiales como el tepetate duro, el conglomerado y otros.

Se entiende por "roca fija" la que se encuentra en mantos con dureza y textura que sólo puede removerse con explosivos, cuñas u otros dispositivos mecánicos.

#### 5.1.6 Plantilla

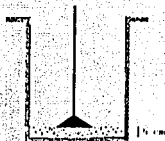
En el fondo de la zanja se coloca una plantilla de arena o material seleccionado con espesor mínimo recomendable de 5 cm, con una superficie nivelada, alineada y debidamente compactada. El apisonado puede hacerse con pisón metálico o de madera (lámina 42).

Las condiciones bajo las cuales se instala la toma, influyen en su capacidad para resistir las fuerzas combinadas de presión interna y carga externa en la zanja. La plantilla sirve como sostén del ramal en toda su longitud.

La plantilla es necesaria independientemente de las características del terreno, ya que

proporciona a la toma nivelación adecuada y permite repartir perfectamente su carga. La plantilla deberá estar libre de piedras, ralcos y afloramientos rocosos. Se apisonará hasta que el rebote del pisón indique que se ha logrado la mayor compactación posible, lo que se consigue humedeciendo el material que forma la plantilla.

Lámina 42. Plantilla.

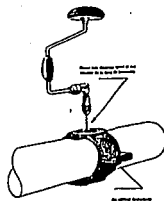


### 5.1.7 Perforación de la tubería

Para líneas en operación con bajas presiones (menores a 1 kg/cm<sup>2</sup>) la perforación se puede realizar con la abrazadera y válvula de inserción instalada; para líneas vacías la perforación podrá realizarse únicamente con la abrazadera, pero siempre formando un ángulo de 45° con la horizontal.

La tubería de PVC y la de asbesto cemento se perforarán usando una broca sacabocado (con diámetro igual o menor al del interior de la válvula de inserción), para evitar la caída de rebaba en la línea (lámina 43).

Lámina 43. Perforación de la tubería.

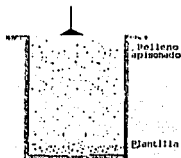


Para colocar la válvula de inserción directamente en tubería de acero o Fo.Go., se puede emplear la máquina insercionadora tipo "Mueller". Se requiere una broca especial, para realizar la inserción con este equipo, según sea el tipo de material de la red de distribución.

Lámina 44. Relleno de la zanja.

### 5.1.8 Relleno de la zanja

Se puede utilizar como material de relleno el obtenido en la excavación, libre de piedras, ralcos o rocas, si este no es arcilloso de alta plasticidad, o con materia orgánica. El relleno se realizará en capas, de 15 cm de espesor hasta el nivel del terreno; cada capa se apisonará (se recomienda que el material de relleno esté húmedo para lograr su adecuada compactación).



Si la excavación es en una calle pavimentada, el relleno debe ser apisonado hasta el nivel que permita recibir la carpeta asfáltica; para zonas sin pavimentación, se apisona hasta 15 cm encima del lomo de la tubería y se concluye con relleno a volteo dejando un pequeño lomo de tierra sobre el nivel del terreno.

El relleno de la zanja y apisonado, debe seguir a la instalación tan pronto como sea posible, para disminuir el riesgo de algún accidente o desperfecto en la instalación.

(lámina 44).

Se deben realizar preparaciones, que permitan no romper todo el pavimento, cuando se tenga que sustituir el ramal de la toma.

#### 5.1.9 Medidas de seguridad

En terrenos arenosos con poca estabilidad, las paredes de la excavación, se podrán hacer con talud aumentando su ancho en la parte superior.

Se debe utilizar equipo de señalización adecuado, como barreras o lucos, en caso de trabajar en una vialidad de tránsito intenso.

Para que la ejecución del trabajo se realice en condiciones de seguridad, se proporcionará a los trabajadores las herramientas, instrumentos y materiales necesarios como: botas altas de hule para trabajar en zanjas anegadas, guantes de carnaza para manipular cables y tubería, cascos metálicos o de plástico; reponiéndolos cuando sea necesario.

#### 5.1.10 Inspección y supervisión

Es conveniente mantener una inspección constante en las diferentes etapas de construcción de la toma, a fin de verificar que la prueba de la instalación (hermeticidad), se realice de acuerdo con las normas establecidas y que la calidad de los materiales, equipo y procedimientos de construcción se ajusten a las especificaciones.

Los principales aspectos de la obra, motivo de vigilancia son:

- a) Las dimensiones de la excavación deben ajustarse a las recomendadas en la tabla 25, con tolerancia de más o menos cinco centímetros.
- b) En terrenos inestables las excavaciones que se realicen deben garantizar la seguridad necesaria para los trabajadores y la obra.
- c) Cuando exista agua en el interior de la zanja, es conveniente extraerla para realizar la instalación.
- d) La colocación de la plantilla debe ser previa al tendido del ramal de la toma, para prevenir una posible falla en la instalación.
- e) La abrazadera debe estar limpia y tener un asiento firme, libre de filos o bordos, y estar a 45° con respecto a la horizontal.
- f) La cuerda de la válvula de inserción debe ser compatible con la de la abrazadera; al

atornillarse se debe cuidar de no apretar demasiado para evitar que se agriete la abrazadera.

g) Previa a su instalación, la tubería debe estar limpia en su interior y exterior principalmente en sus extremos.

h) La tubería metálica no debe doblarse a base de golpes cuando se realicen curvas; las curvas deben estar bien definidas, limpias, sin reventaduras ni porosidades.

i) El mecanismo de cierre de la válvula de banquetta debe quedar en posición vertical para asegurar su adecuada operación.

j) El cuadro debe realizarse con componentes metálicos, verificar que no se presente fugas por alguno de ellos, que no se realicen conexiones con materiales metálicos de diferente tipo y en ciudades donde se presenten temperaturas por debajo de 0°C, asegurarse de colocar las protecciones necesarias.

k) En planta la toma debe quedar instalada con el alineamiento debido.

l) El relleno debe realizarse con la forma especificada, colocando capas sucesivas compactadas.

m) El pavimento reconstruido debe ser del mismo material y características que el pavimento original; quedar al mismo nivel de éste, evitando la formación de topes o depresiones.

El catastro de la instalación debe hacerse en formatos diseñados para tal efecto, anotando como datos complementarios los factores de importancia que afecten la construcción: modificaciones, suspensión, reanudación o fin del trabajo.

## *5.2. Procedimientos de instalación de tomas domiciliarias*

De la tubería de distribución pueden derivarse las tomas domiciliarias directamente, con abrazadera o silletas.

Los diámetros máximos de derivación que se consideran aconsejables, por diámetro de la tubería y la forma de instalarse, se presentan en la tabla 26.

Tabla 26. Diámetros máximos recomendados de derivación [1].

DIÁMETRO MÁXIMO RECOMENDABLE DE DERIVACIÓN			
DIÁMETRO NOMINAL DE LA TUBERÍA PRINCIPAL	DIRECTA	ABRAZADERA	
38 - 75 mm	NO RECOMENDABLE NO RECOMENDABLE	19 mm	
100 mm		25 mm	
150 mm		25 mm	
200 - 250 mm		19 mm	25 mm
MAYORES		25 mm	38 mm

Lámina 45. Derivación directa

#### a) Derivación directa

Es la que se hace conectando el insertor o la válvula de inserción en una perforación con cuerda hecha a la tubería (lámina 45).

#### b) Derivación con abrazadera

El uso de abrazadera (lámina 46) permite derivaciones de mayor diámetro en comparación con las derivaciones directas.

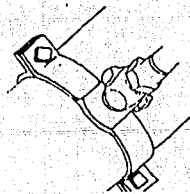
Pueden instalarse con la tubería vacía o trabajando a presión; en el primer caso se perfora la tubería antes de colocarse la abrazadera, usando un taladro común o berbiquí con la broca adecuada para cada tipo de material; en el segundo caso con la abrazadera y la válvula de inserción colocadas y perforando a través de ellas, cuidando que el diámetro de la broca sea igual al interior de la inserción.



#### c) Derivación por termofusión.

Las derivaciones en tuberías de PEAD, se lleva a cabo por medio de una sileta; la unión entre ésta y la tubería se realiza calentando la superficie de estos dos componentes, hasta alcanzar el grado de fusión y después mediante una presión controlada sobre ambos elementos se logra una unión monolítica. Para hacer una transición entre el polietileno y otro tipo de material se dispone de uniones mecánicas y adaptadores del sistema de compresión.

Lámina 46. Derivación con abrazadera



### 5.2.1 Instalación de toma domiciliaria con material de plástico.

En la tabla 27, se presenta los componentes, materiales y herramientas para la instalación de una toma domiciliaria con material de plástico.

Tabla 27. Instalación de toma domiciliaria con material de plástico [1].

PARTES DE LA TOMA	COMPONENTES (3)	HERRAMIENTAS
RAMAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abrazadera de plástico o metálica con salida para cuerda o sillota termofusionada para tubería principal de 19 AD.</li> <li>- Válvula de inserción de plástico o metálica. (*)</li> <li>- Conexiones a compresión de plástico.</li> <li>- Tubería de PEAD.</li> <li>- Llave de banqueta metálica o plástico (*).</li> <li>- Caja de banqueta (*).</li> <li>- Codo metálico de 90°.</li> </ul>	<p>a) <u>Sin termofusión</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarmador plano (o la abrazadera lleva tornillos)</li> <li>- Berbiquil con broca sacabocado</li> <li>- Llave de estilón (1)</li> <li>- Perico (2)</li> <li>- Cinta de teflón o similar</li> </ul> <p>b) <u>Con termofusión</u></p>
CUADRO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tubería metálica (cobre o Fe.Go).</li> <li>- Niple metálico (Fe.Go).</li> <li>- Medidor.</li> <li>- Válvula de globo metálica.</li> <li>- Tee metálica o rincón (cobre o Fe.Go).</li> <li>- Codo de 90° (cobre o Fe.Go.).</li> <li>- Llave de manguera metálica.</li> <li>- Tapón metálico.</li> <li>- Conectores de cobre (en caso de que el cuadro sea de cobre).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Carro alineador.</li> <li>- Calentadores que se sujetan a los diámetros requeridos.</li> <li>- Generador de corriente eléctrica a base de gasolina o batería.</li> <li>- Franela.</li> <li>- Cepillo metálico</li> <li>- Taladro probador de línea viva.</li> </ul>

Notas: No se recomienda hacer combinaciones metálicas entre cobre y Fe.Go.

(1) Se recomienda de 2" de apertura y 14" de brazo.

(2) Se recomienda de 1 11/16" de apertura y 15" de brazo.

(3) Las dimensiones de los componentes dependen del diámetro de la toma (generalmente de 13 a 19 mm).

(\*) Estas piezas son opcionales y su uso queda a criterio del Organismo Operador [1].

### 5.2.2 Instalación de toma domiciliaria con material de Fo.Go.

En la tabla 28, se presenta los componentes, materiales y herramientas para la instalación de una toma domiciliaria con material de Fo.Go.

Tabla 28. Instalación de toma domiciliaria con material de Fo.Go (1).

PARTES DE LA TOMA	COMPONENTES (3)	HERRAMIENTAS
RAMAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abrazadera metálica o de plástico con salida para cuerda o sileta de PEAD termofusionada</li> <li>- Válvula de inserción metálica o de plástico (*)</li> <li>- Adaptadores con sistema a compresión.</li> <li>- Tubería de PEAD y de Fo.Go.</li> <li>- Caja para llave de banqueta (*)</li> <li>- Llave de banqueta (*)</li> <li>- Tuerca unión para unir tubería de Fo.Go. a la llave de banqueta (*).</li> </ul>	<p>a) <u>Sin termofusión</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarmador plano (si la abrazadera lleva tornillos)</li> <li>- Hubiquí con broca sacabocado</li> <li>- Llave estilón (1)</li> <li>- Purico (2)</li> <li>- Cinta de Teflón o similar</li> </ul> <p>b) <u>Con termofusión</u></p>
CUADRO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tubería metálica (cobre o Fo.Go.)</li> <li>- Codos de 90° (cobre o Fo.Go.)</li> <li>- Válvula de globo metálica</li> <li>- Medidor</li> <li>- Tio o rincón (Fo.Go.).</li> <li>- Llave de manguera</li> <li>- Tapón metálico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipo de termofusión (Tabla 27), si el acoplamiento es con sileta a tubería de PEAD.</li> </ul>

NOTAS: No se recomiendan hacer combinaciones metálicas entre cobre y Fo.Go.

(1) Se recomienda de 2" de apertura y 14" de brazo.

(2) Se recomienda de 1 11/16" de apertura y 15" de brazo.

(3) Las dimensiones de los componentes dependerán del diámetro de la toma (generalmente 13 ó 19 mm).

(\*) Estas piezas son opcionales y su uso queda a criterio del Organismo Oporador (1).



### 5.2.3 Instalación de toma domiciliaria con material de cobre.

En la tabla 29, se presentan los componentes, materiales y herramientas para la instalación de toma domiciliaria con material de cobre.

Tabla 29. Instalación de toma domiciliaria con material de cobre [1].

PARTES DE LA TOMA	COMPONENTES (3)	HERRAMIENTAS
RAMAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abrazadera metálica o de plástico, con salida para cuerda o silleta de PEAD termofusionada.</li> <li>- Válvula de inserción metálica (*)</li> <li>- Tubería de cobre tipo "L" flexible y tubería de cobre tipo "M"</li> <li>- Llave de banqueta metálica (*)</li> <li>- Caja para llave de banqueta (*)</li> <li>- Conector de cobre con cuerda interior para llave de banqueta.</li> </ul>	<p>a) <u>Sin termofusión</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarmador plano (si la abrazadera lleva tornillos)</li> <li>- Llave estilón (1)</li> <li>- Barbiquil con braca sacibocudo</li> <li>- Perico (2)</li> <li>- Cortador</li> <li>- Abocinador</li> <li>- Soplete</li> <li>- Pasta fundente</li> <li>- Lija</li> <li>- Soldadura</li> <li>- Estopa</li> <li>- Cinta de tellón o similar</li> </ul> <p>b) <u>Con termofusión</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipo de termofusión (tabla 27), si el acoplamiento es con silleta a tubería de PEAD.</li> </ul>
CUADRO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tubería de cobre tipo "M"</li> <li>- Codos 90° soldable o con cuerda interior</li> <li>- Conector de cobre con cuerda exterior (válvula de globo con cuerda)</li> <li>- Válvula de globo con cuerda o soldable.</li> <li>- Medidor (*)</li> <li>- Tee de cobre soldable a cuerda interior</li> <li>- Conector de cobre a cuerda interior</li> <li>- Llave de manguera metálica.</li> </ul>	

NOTAS: No se recomiendan hacer conexiones metálicas entre cobre y Fe. Cu.

(1) Se recomienda de 2" de apertura y 14" de brazo.

(2) Se recomienda de 1 11/16" de apertura y 15" de brazo.

(3) Las dimensiones de los componentes dependen del diámetro de la toma (generalmente 13 ó 19 mm).

(\*) Estas piezas son opcionales y su uso queda a criterio del Organismo Operador [1].

## CAPITULO 6. REHABILITACIÓN EN TOMAS DOMICILIARIAS

La decisión de reemplazar y/o rehabilitar los componentes de una toma domiciliaria, se basa en considerar factores como: edad de la tubería, estado de los componentes, diseño inadecuado, programas de mantenimiento y registros históricos de fugas (1).

Los materiales de una toma domiciliaria están sujetos a un desgaste natural, que varía en proporción directa con factores, como: características y calidad del material, condiciones de operación, tipo de terreno, calidad del agua y agentes ambientales.

La selección adecuada de los materiales, la verificación de su calidad, así como la mano de obra capacitada, propicia que las posibilidades de falla se reduzcan. La decisión de reemplazo o sustitución se puede hacer con el siguiente análisis:

- 1) Vida útil que le queda a la tubería.
- 2) Beneficio por rehabilitación.
- 3) Periodo de continuidad de la instalación por rehabilitación.
- 4) Costo unitario del reemplazo y rehabilitación.

### 6.1 Criterios de rehabilitación para tomas domiciliarias

#### 6.1.1 Reparación en tomas domiciliarias

Se refiere a todas aquellas actividades que se realizan, para rehabilitar un(os) componente(s) de la toma domiciliaria.

Una reparación se justifica cuando existe:

- Variación de presión no significativa en la toma.
- Fallas locales pequeños en los elementos de la toma.
- Baja frecuencia de ocurrencia de fallas en la toma.
- Si el daño está en la tubería y es menor de 5 cm, reemplácese el tramo afectado.
- Si el daño está en la tubería y la causa es material angular, repárese el tramo afectado y sustitúyase el material de rollo.  
Cuando el costo de reparación es menor al de sustitución.

En la tabla 30, se presenta un resumen de las fallas que se presentan en tomas y medidas preventivas que deben considerarse.



#### NOTAS:

\* Acreditando en su cuenta en relación al proyecto de norma oficial para la realización de la prueba de hermeticidad en tomas domiciliarias.

\* Contar con manuales de instalación y seguir los procedimientos de unión descritos en este documento.

#### MEDIDAS PREVENTIVAS:

- 1.- Supervisar que la instalación de la toma domiciliaria sea realizada de acuerdo a las especificaciones y procedimientos recomendados.
- 2.- Verificar que la calidad de los materiales cumplan con las especificaciones y normas (NMX) de producto correspondiente.
- 3.- Seleccionar materiales que resistan las condiciones de trabajo a que estarán sujetos, como: tipo de suelo, calidad del agua, agentes ambientales, cargas externas y condiciones de operación del sistema.
- 4.- Utilizar sellón (cinta sellante de politetrafluoruro de carbono).
- 5.- En terrenos con relleno sanitario, salinos o con alta humedad, el PEAD presenta un buen comportamiento. En caso de instalar tubería metálica en este tipo de suelo, ésta se debe enterrar en tubería flexible de polivinilo tipo manguera, recubrirse helicoidalmente con cinta de polietileno o colocar una capa de relleno de arena cuyo espesor final quede por lo menos 5 cm sobre la clave de la tubería de la toma.
- 6.- Dar una profundidad mínima de 30 cm al ramal de la toma.
- 7.- Realizar el cuadro de pesos que permita detectar los desplazamientos excesivos entre la red de distribución y la toma domiciliaria.
- 8.- Verificar que la soldadura forme completamente los espacios vacíos entre las juntas.
- 9.- Compactar el relleno apisonando en capas de 15 cm de espesor.
- 10.- Que las cuerdas de los componentes que se utilicen sean compatibles.

### 6.1.2 Reemplazo de tomas domiciliarias

La sustitución de tomas domiciliarias involucra altos costos y tiempos de reparación considerables.

El ramal deberá sustituirse cuando:

- La profundidad del ramal de la toma sea menor a 30 cm, independientemente del tipo de material que la constituya.
- La toma tiene más de una reparación.
- El asentamiento del terreno es considerable.
- El material plástico este intemperizado.
- El material presenta corrosión en más de un punto.
- La toma haya cumplido con su vida útil.

Un reemplazo se justifica cuando:

- Se tiene alta frecuencia de ocurrencia de daños.
- Corrosión en las tuberías, tomas y piezas especiales metálicas.
- Falla de la tubería de PEAD por aplastamiento, rajadura, corte, etc.
- El costo de reparación es mayor al de sustitución.

En la tabla 31, se presenta un procedimiento de evaluación, para decidir sobre el reemplazo del ramal de la toma:

Tabla 31. Criterios de reemplazo para tuberías pequeñas.

CONCEPTO	PUNTOS
<i>CONSIDERACIONES GENERALES</i>	
Edad de la tubería (E)	
E > 80 años	4
51 ≤ E ≤ 80	3
21 ≤ E < 50	1
0 ≤ E < 20	0
Historial de fugas o fallas	
Mínimo 2/año o 3 en 5 años	2/fuga o falla
Profundidad de la tubería (H)	
H < 30 cm	5
Tubería de diámetro pequeño (d)	
d < 25 mm	3
Coefficiente "C"	
C < 70	4
70 ≤ C ≤ 79	3
80 ≤ C ≤ 89	2
C > 90	1
Consideraciones sobre corrosión (12.5 cm. de longitud). Perforación (pf):	
pf > 75% del espesor de pared	5
50 ≤ pf ≤ 75 % del espesor de pared	3
pf < 75 % del espesor de pared	0
Resistividad del suelo (R)	
R < 1000	3
1000 ≤ R ≤ 2000	1
R > 2000	0
Tubería de Fo.Go.	2
<i>CONSIDERACIONES ESPECIALES</i>	
Presión (P)	
P < 3 kg/cm <sup>2</sup>	4
P > 3 kg/cm <sup>2</sup>	0
Variación de presión en la toma	
3,5 kg/cm <sup>2</sup>	8
2,8 kg/cm <sup>2</sup>	5
2,1 kg/cm <sup>2</sup>	3
1,4 kg/cm <sup>2</sup>	1

Si la suma es igual a 10 puntos o mayor, se recomienda reemplazar.

El método de rehabilitación del ramal en las tomas domiciliarias más efectivo, es la sustitución, dado que una buena aplicación técnica, una selección correcta de los materiales y un reemplazo cuidadoso, constituyen los requisitos para lograr un eficiente funcionamiento del sistema de agua potable. Las ventajas de la sustitución estriban en que se pueden utilizar materiales mejorados para las tuberías y conexiones, homogenizar los componentes de la toma y actualizar el catastro físico de la misma.

Se ha estimado que la ruptura de pavimento, excavación, instalación y relleno de la sustitución del ramal de una toma domiciliaria es del orden del 70 % del costo total de la misma, por lo que es necesario contar con equipos o técnicas que permitan reducir costos por mano de obra.

## *6.2 Técnicas de sustitución de tomas domiciliarias*

A continuación se describen técnicas de sustitución de tomas domiciliarias que permiten reducir costos y tiempos de rehabilitación [1,16]:

### **6.2.1 Método por tensión.**

**Descripción:**

- a) Se localiza la línea de la red de distribución y el sitio de la inserción, del ramal.
- b) Se excava una zanja en cada uno de los extremos del ramal.
- c) Se corta la tubería a reemplazar en los extremos.
- d) Se introduce el cable por el cono hasta el tope del mismo, se coloca el coplo al cono, con la nueva tubería asegurándose de que quede bien sujeta. Esta etapa se recomienda se efectúe en el extremo donde se encuentre el cuadro o llave de banqueta.
- e) Se introduce el cable por la tubería hasta que alcance el extremo opuesto y el cono quede al tope del corte de la tubería.
- f) En el extremo opuesto al medidor, con la pinza se sujeta a el cable de acero y mediante el gancho, se asegura del mecanismo con que se efectuará la tensión.
- g) Se efectúa el "tirón" hasta que aparezca la nueva tubería en el extremo donde se encuentra la inserción.
- h) Se desconecta el coplo del cono, para liberar el extremo de la nueva tubería y se procede a realizar las conexiones en la inserción y en el medidor. En la tabla 32, se presentan las ventajas y desventajas de ésta técnica.

En la lámina 47, se ilustra el procedimiento del método por tensión.

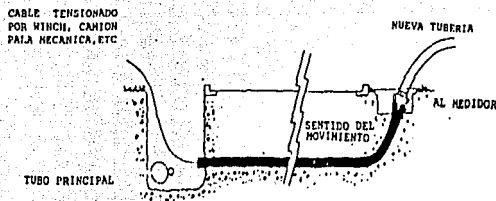


Lámina 47. Método por tensión para sustitución de tomas domiciliarias.

Tabla 32. Ventajas y desventajas de la sustitución por el método de tensión [16].

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disponibilidad del equipo cuyo costo no es elevado lo que permite una rápida recuperación de la inversión.</li> <li>- Facilidad y rapidez de manejo.</li> <li>- El tiempo de sustitución de la tubería de una toma domiciliaria se reduce considerablemente, de un promedio de 8 hr a aproximadamente 2 hr.</li> <li>- Permite aumentar el rendimiento por cuadrilla considerablemente.</li> <li>- Sustituir o introducir tubería rígida y flexible, sin necesidad de excavar a todo lo largo de la tubería por reemplazar y sin necesidad de cerrar el tránsito vehicular.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La herramienta es de fabricación extranjera.</li> <li>- Se debe tener un mecanismo de tensión que permita extraer la tubería a sustituir e introducir la nueva, que incrementa el costo.</li> <li>- Cuando la tubería de la toma por reemplazar, presenta una trayectoria irregular, puede suceder que el cono de abertura se detenga en alguna parte del ramal y el cable de tensión pueda romperse, entonces tendría que excavarse para recuperar el cono.</li> <li>- Cuando la toma a sustituir, presenta tramos con reparaciones anteriores, principalmente con elementos que reducen el área de conducción, el cable no pueda pasar por la tubería será necesario excavar en el lugar donde se presenta la obstrucción.</li> </ul>

### 6.2.2 Método por percusión.

A continuación se describe el método:

- Se realizan dos excavaciones, una en la zona del cuadro y otra en la inserción.
- Se coloca la varilla guía a la profundidad a que se instalará la toma.



Se introducen con el mazo los tramos de varilla acoplados previamente.

- Se conecta la nueva tubería con un cople al último tramo de las varillas, que ya se han introducido.
- Una vez que las varillas introducidas alcanzan el extremo opuesto, se extraen los tramos, con lo que al mismo tiempo se introduce la nueva tubería.
- Se realizan las conexiones correspondientes.

En la tabla 33, se presentan las ventajas y desventajas de ésta técnica.

Tabla 33. Ventajas y desventajas de la sustitución por el método de percusión [1].

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disponibilidad inmediata del equipo, su costo es bajo y permite una rápida recuperación de la inversión.</li> <li>- Facilidad y rapidez de manejo.</li> <li>- El tiempo de sustitución se reduce de un promedio de 8 hr a 4 hr.</li> <li>- Permite aumentar el rendimiento por cuadrilla.</li> <li>- Permite instalar o sustituir tubería rígida y flexible, sin necesidad de excavar a todo lo largo de la tubería por reemplazar y sin necesidad de cerrar el tránsito vehicular.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las barras que se introducen y que sirven de guía para instalar o sustituir nueva tubería, se van interconectando y en consecuencia el procedimiento se hace lento.</li> <li>- Si se presenta un obstáculo en la dirección que sigue la barra guía, se tiene que repetir el procedimiento desde un principio.</li> <li>- El procedimiento es totalmente manual.</li> <li>- El personal que realice la instalación o sustitución debe estar capacitado en el uso de esta técnica.</li> </ul>

En la tabla 34, se presenta una evaluación de las técnicas de sustitución de tomas por los métodos de tensión y percusión [1].

Tabla 34. Evaluación de técnicas de sustitución [1].

TÉCNICA	REDUCCIÓN DE COSTOS	RENDIMIENTO TOMAS/DÍA	Nº. DE EMPLEADOS
TENSIÓN	80	4 - 6	3
PERCUSIÓN	35	2 - 3	4

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El gasto de fuga es mayor conforme aumenta la presión.

El efecto principal más importante en la presencia de fugas en tomas domiciliarias, es la presión; el segundo más importante es el tipo de material y el tercero es el tipo de suelo.

- El efecto de interacción más importante en la presencia de fugas en tomas domiciliarias, es la relación tipo de suelo-tipo de material, la interacción presión-tipo de material es el segundo y la interacción tipo de suelo-presión-tipo de material es el tercero.

- Un factor que influye para que el gasto de fuga sea mayor en el tipo de suelo arenoso, es que es más poroso que los otros dos tipos de suelo considerados en el experimento, por lo cual, el agua que escapa por una fuga, fluye con mayor velocidad que en los tipos de suelo arcilloso y arenoso-arcilloso.

Un factor que influye para que el gasto de fuga sea menor en el tipo de suelo arcilloso, es que es el menos poroso de los tipos de suelo considerados, por lo cual, el agua que escapa por una fuga, fluye con menor velocidad en estos tipos de suelo; además la arcilla al estar en contacto con el agua se expande, produciendo esfuerzos alrededor de la tubería los cuales, reducen el gasto de fuga, por la interacción suelo-tubería.

- Las ecuaciones obtenidas para el cálculo del gasto de fuga en una toma domiciliar con los resultados de laboratorio (tabla 8), son representativas de las mediciones realizadas en campo, para los tipos de suelo arenoso y arcilloso, como puede observarse en las láminas 48 y 49; tienen además la ventaja de que el intervalo de presión para el cual son válidas, es mayor al de las otras expresiones obtenidas, con los datos de campo.

- La ecuación para el cálculo del gasto de fuga en una toma domiciliar obtenida con los resultados de laboratorio para el tipo de suelo arenoso arcilloso (tabla 8), tiene variaciones significativas, respecto a las mediciones realizadas en campo, como puede observarse en la lámina 50, por lo cual se recomienda el uso de la ecuación de ajuste calculada, o bien, la del orificio (tabla 17 y 18), para éste tipo de suelo.

-El gasto de fuga en el tipo de suelo arenoso-arcilloso, puede variar dependiendo de la proporción, de tipo de suelo predominante que se tenga en ésta relación, es decir, si el suelo es más arenoso que arcilloso o viceversa, ya que de ello dependerá que el agua fluya más o menos rápido; en el primer caso el gasto de fuga es mayor, mientras que para el segundo es menor.

Lámina 48. Mediciones en campo y resultados de laboratorio, para el tipo de suelo arenoso

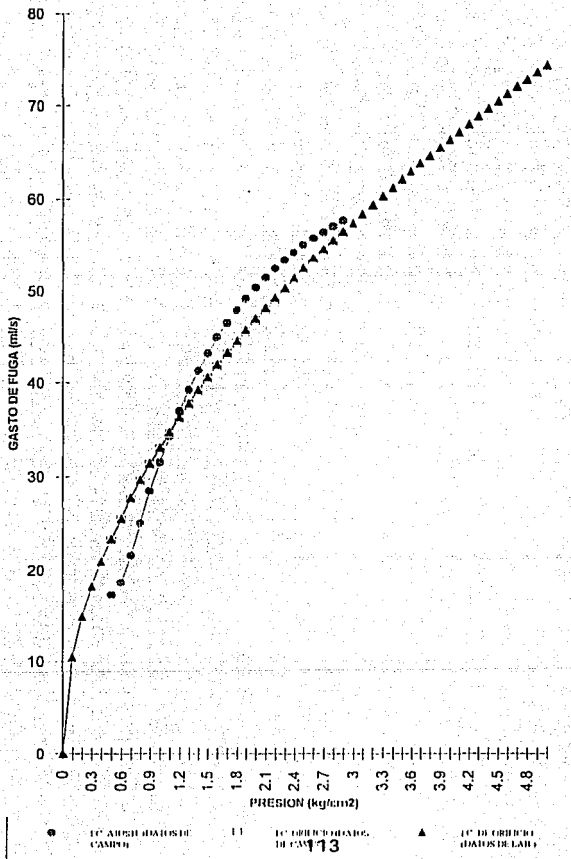


Lámina 49. Mediciones en campo y resultados de laboratorio, para el tipo de suelo arcilloso

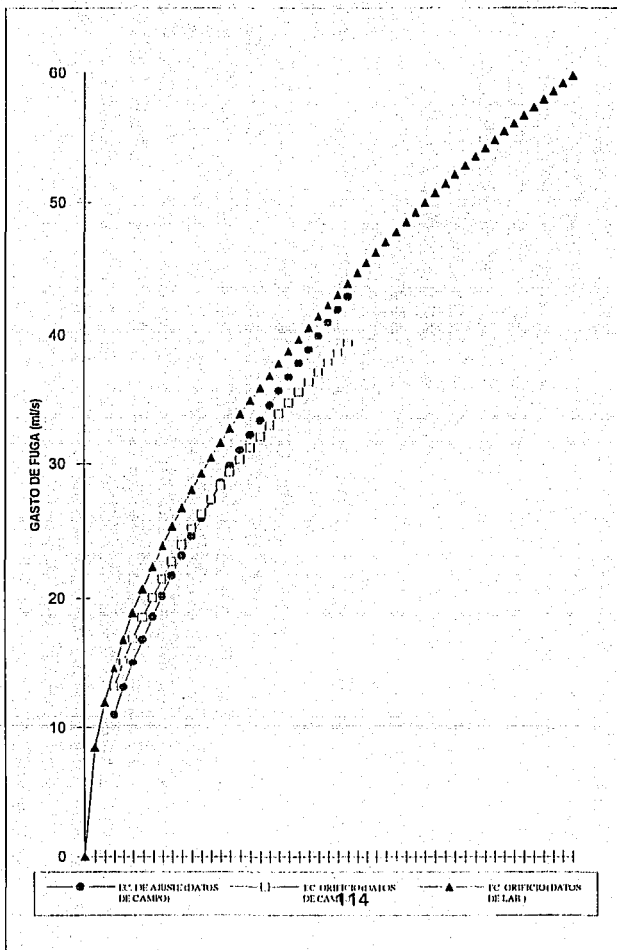
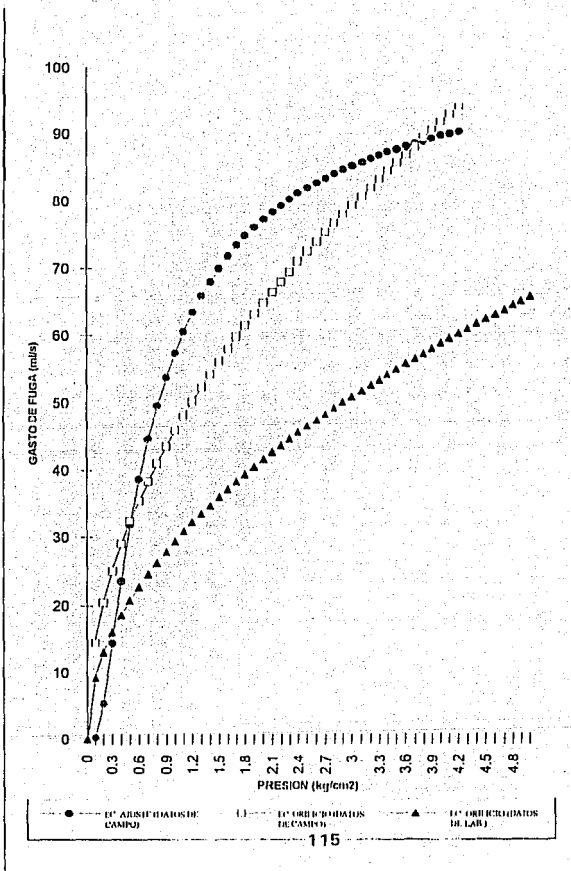


Figura 50. Mediciones en campo y resultados en laboratorio, para el tipo de suelo arenoso miciloso.



## 1. Resultados de laboratorio

- Para un mismo tipo de fuga (orificio) e igual intervalo de presión ( $0 \leq P \leq 5$  kg/cm<sup>2</sup>), el gasto de fuga es mayor en el tipo de suelo arenoso, el menor gasto de fuga se presenta en suelo arcilloso; mientras que el gasto de fuga en el suelo arenoso-arcilloso está entre los tipos de suelo ya mencionados.
- En promedio, el gasto de fuga del suelo arenoso es mayor en un 19.5 %, respecto al del suelo arcilloso.
- En promedio, el gasto de fuga del suelo arenoso es mayor en un 11.4 %, respecto al del suelo arenoso-arcilloso.
- En promedio, el gasto de fuga del suelo arenoso-arcilloso es mayor en un 9.1 %, respecto al del suelo arcilloso.

## 2. Mediciones en campo

### Ecuación de ajuste:

- El intervalo de presión válido para la ecuación de ajuste del tipo de suelo arenoso es  $0.5 \leq P \leq 2.9$  kg/cm<sup>2</sup>.
- El intervalo de presión válido para la ecuación de ajuste del tipo de suelo arcilloso es  $0.3 \leq P \leq 2.7$  kg/cm<sup>2</sup>.
- El intervalo de presión válido para la ecuación de ajuste del tipo de suelo arenoso-arcilloso es  $0.1 \leq P \leq 4.2$  kg/cm<sup>2</sup>.
- En promedio el gasto de fuga del suelo arenoso-arcilloso es mayor en un 38.8 %, respecto al del suelo arenoso.
- En promedio el gasto de fuga del suelo arenoso-arcilloso es mayor en un 53.5 %, respecto al del suelo arcilloso.
- En promedio el gasto de fuga del suelo arenoso es mayor en un 25.7 %, respecto al del suelo arcilloso.

### Ecuación de los orificios

- El gasto de fuga es mayor conforme aumenta la presión.
- El intervalo de presión válido para la ecuación de los orificios del tipo de suelo arenoso es  $0.5 \leq P \leq 2.9$  kg/cm<sup>2</sup>.

- El intervalo de presión válido para la ecuación de los orificios del tipo de suelo arcilloso es  $0.3 \leq P \leq 2.7 \text{ kg/cm}^2$ .

- El intervalo de presión válido para la ecuación de los orificios del tipo de suelo arenoso arcilloso es  $0.1 \leq P \leq 4.2 \text{ kg/cm}^2$ .

- En promedio el gasto de fuga del suelo arenoso-arcilloso es mayor en un 27.9 %, respecto al del suelo arenoso.

- En promedio el gasto de fuga del suelo arenoso arcilloso es mayor en un 47.7 %, respecto al del suelo arcilloso.

- En promedio el gasto de fuga del suelo arenoso es mayor en un 27.5 %, respecto al del suelo arcilloso.

### 3. Análisis de varianza

- Los efectos principales, como los de interacción entre tipos de suelo, presión y tipos de materiales, son estadísticamente significativos al nivel 0.05, ya que de la tabla de la distribución F, se tiene que  $F_{0.05,2,27} = 3.35$ ,  $F_{0.05,4,27} = 2.73$ ,  $F_{0.05,8,27} = 2.31$  y en todos los casos  $F_o > F$  (tabla 21).

- Los efectos principales (tipos de suelo, presión, tipos de materiales), son estadísticamente significativos al nivel 0.10, ya que de la tabla de la distribución F, se tiene que:  $F_{0.10,2,27} = 5.5$ ,  $F_{0.10,4,27} = 4.12$ ,  $F_{0.10,8,27} = 3.26$  y en todos los casos  $F_o > F$  (tabla 21).

- Los efectos de interacción entre tipo de suelo, presión y tipo de material, son a excepción de la interacción tipo de suelo-presión, estadísticamente significativos al nivel 0.10, ya que de la tabla de la distribución F, se tiene que:  $F_{0.10,2,27} = 5.5$ ,  $F_{0.10,4,27} = 4.12$ ,  $F_{0.10,8,27} = 3.26$ ; ya que para estos últimos,  $F_o > F$  (tabla 21).

### 4. Criterios de selección

- El tipo y número de componentes de una toma domiciliar (tabla 93 y 94), dependerá si la zona en donde se instalará es urbana o rural.

- El parámetro más importante que define la agresividad de un suelo, para tomas domiciliarias es la resistividad (R), cuando  $R < 1000 \text{ ohm-cm}$ .

- Los materiales plásticos presentan mejor resistencia a las condiciones extremas, que los materiales metálicos.

## 5. Instalación de tomas domiciliarias

- Las dimensiones recomendadas de la excavación son un ancho mínimo de 40 cm y máximo de 50 cm; con una profundidad mínima de 30 cm y una máxima de 60 cm.
- La colocación de la plantilla debe ser previa al tendido del ramal de la toma, para prevenir una posible falla en la instalación.
- La abrazadera de la toma domiciliaria, debe instalarse a 45° con respecto a la horizontal.
- Realizar el cuello de ganso en el ramal, ya que sirve para absorber el posible desplazamiento diferencial del terreno y los esfuerzos producidos por vibraciones de la red.
- Las cuerdas de los componentes de una toma domiciliaria debe ser compatibles.
- No interconectar componentes metálicos de diferente tipos de material, sin las piezas adecuarlas, para prevenir el desarrollo de la corrosión.
- El cuadro debe realizarse con componentes metálicos, verificar que no se presente fugas por alguno de ellos y en ciudades donde se presenten temperaturas por debajo de 0°C, asegurarse de colocar las protecciones necesarias.
- El relleno debe realizarse colocando capas sucesivas de 15 cm de espesor, compactando cada una de ellas.
- El pavimento reconstruido debe ser del mismo material y características que el pavimento original.

## 6. Respecto a rehabilitación de tomas domiciliarias:

- La decisión de reemplazar y/o rehabilitar tuberías o componentes de una toma domiciliaria, además considerar factores como: presiones en la red, tipo de suelo, edad de la tubería, tipo y calidad del material, diseño, operación de la red, programas de mantenimiento y registros históricos de fugas; debe considerar un análisis económico de la decisión.
- Cuando la profundidad de instalación de una toma sea menor de 30 cm, se recomienda se reemplace.



- Cuando el ramal de la toma tenga más de una reparación se recomienda se sustituya.

- La sustitución es el método mas efectivo de rehabilitación para tomas domiciliarias.

### Técnicas de sustitución

- Se puede instalar o sustituir tubería rígida y flexible, sin necesidad de excavar a todo lo largo de la tubería por reemplazar y sin cerrar el tránsito vehicular.

- Es posible implementar un programa de sustitución de tomas domiciliarias para una localidad, con un abatimiento en costos y tiempos de reparación considerables.

- La selección adecuada de los materiales, la verificación de su calidad, así como la mano de obra capacitada, propicia que las posibilidad de fallas en tomas domiciliarias se reduzcan.

Con las expresiones obtenidas se puede estimar el volumen de agua que se pierde por fugas en tomas domiciliarias para una localidad de la manera siguiente:

$$V_{tf} = 0.0036 \left( \sum_{i=1}^n Q_{ti} P_{ti} N_{tdi} t \right)$$

en donde:

$V_{tf}$  = Volumen total por fugas en tomas domiciliarias para una localidad, ( $m^3$ ).

$n$  = Número de sectores en que esta dividida la localidad.

$i$  = Sector que se este considerando (1,2,...,n).

$Q_{ti}$  = Gasto de fuga por toma considerando la presión y tipo de suelo del sector  $i$  (ml/s).

$P_{ti}$  = Porcentaje de tomas domiciliarias con fuga del sector  $i$ .

$N_{td}$  = Número total de tomas del sector  $i$ .

$t$  = Número de horas de servicio del sector  $i$  (hr).

El  $Q_{ti}$  se puede obtener de las tablas 8,17 y 18, o bien de las láminas 48,49 y 50.

## REFERENCIAS

1. CNA, Vázquez, L. A., "Instalación y rehabilitación de tomas domiciliarias", 1993, México, 80 pp.
2. CEPIS, *Control de fugas y mediciones en redes de distribución de agua*.
3. IMTA, Enríquez, Z.S., Maldonado, S.J., *Informe final del proyecto de los estudios de evaluación de pérdidas en sistemas de distribución de agua potable*, 1992, México, 39 pp.
4. CNA, Enríquez, Z. S., Vázquez, L. A., Ochoa, A. L., *Manual de control de fugas en sistemas de distribución de agua*, 1992, México.
5. AWWA, *Water Main Evaluation for Rehabilitation/Replacement*, 1986, 182 pp.
6. IMTA, Vázquez L. A., *Informe final del proyecto instalación, reparación y sustitución de tomas domiciliarias*, 1993, 86 pp.
7. AWWA, *Corrosion Control*, 1985, USA.
8. AWWA, C-105, *Polyethylene encasement for ductile-iron piping for water and other liquids*.
9. AWWA manual of water supply practices, *External Corrosion Introduction to Chemical and Control*, First Edition, USA, 56 pp.
10. Thomas M. Walski, American Society of Civil Engineers, *Water Supply System Rehabilitation*, USA.
11. Donald W. Mofat, *Handbook of charts and tables*, Prinlice Hall, 1991, 561 pp.
12. International report, *Problems of External Corrosion in Water Distribution*, 1989.
13. AWWA, *Corrosion Control for Operators*, USA
14. Joy K. Jayapalan, American Society of Civil Engineers, *Advances in underground Pipeline Engineering*, USA, 1985, 576 pp.
15. B. Strack, *Defining the scale of the problem*, Water Supply, Vol 8, Berlin, 1990, 133-140 pp.
16. Vázquez L. A. et al., "Técnica alternativa en la sustitución de tomas domiciliarias", memorias del XXIII Congreso de la asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, CUBAIDIS, La Habana, Cuba, 1992.

17. Melvin Romanoff, National Bureau of Standards, *Underground Corrosion*, USA.
18. D. Kelly O'Day, *Organizing and analyzing leak and break data for marking main replacement decisions*, Research and Technology, 1982, 589-594 pp.
19. Plásticos OMEGA S.A de C.V., *Manual Técnico para tubería de polietileno*, México.
20. Thomas M. Walsky, *Economics analysis of water main breaks*, Research and Technology, 1982, 140-147 pp.
21. ASTM D- 1599, *Short-Time Capture Strength of Plastic Pipe, to Bins and Fittings*, USA.
22. ASTM D- 2412, *External Loading Properties of Plastic Pipe by Parallel-Plastic loading*, USA.
23. ASTM D- 2166, *Test for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soils*, USA.
24. ASTM D- 1598, *Time-to-Failure of Plastic Pipe Under Constant Internal Pressure*, USA.
25. ASTM D- 2444, *Impact Resistance of Thermoplastic Pipe and Fittings by Means of a Tup*, USA.
26. AWWA M-23, *Pvc Pipe - Design and Installation*, USA.
27. AWWA, *Water audit and leak detection M36*.
28. Jhon McCallin, *Manual del agua Nalco*, Mc Graw Hill, vol 3, 1989.
29. INEGI, cartas edafológicas.
30. CNA, "Situación actual de los Organismos Operadores y sistemas de distribución de agua y alcantarillado", 1993.
31. Schenck H., "Theories of Engineering Experimentation", McGraw Hill, New York, 1961.
32. NOM-C-340-1986, *Parámetros potencialmente agresivos a la tubería*, México.
33. Gyves, M.J., *Determinación de la tendencia a la incrustación o corrosión del agua*, Ingeniería hidráulica en México, vol. V, Num 2, mayo/agosto 1990.
34. NOM-AA-8-1980, *Determinación del pH*, México.

35. NOM-AA-73-1981, *Determinación de cloruros*, México.
36. CNA, *Lineamientos de proyectos*, México, 1993.
37. Moreno, A. V., Echávez, A. G., *Efecto del envejecimiento en el coeficiente de pérdidas para tuberías hasta de 2 pulgadas.*, UAC-UNAM, 1994.
38. IMTA-CNA, *Detección y control de fugas e impacto de la micromedición en Guaymas, Son.*, Informe final del proyecto, 1990.
39. IMTA-CNA, *Estudio de evaluación de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Tuxtla, Gtz. Chis.*, Informe final del proyecto, 1991.
40. IMTA-CNA, *Estudio de evaluación de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ciudad de San Cristobal de las Casas. Chis.*, Informe final del proyecto, 1992.
41. IMTA-CNA, *Estudio de evaluación de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Tapachula, Chis.*, Informe final del proyecto, 1991.
42. IMTA-CNA, *Estudio de evaluación de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Cancún, Qroo.*, Informe final del proyecto, 1991.
43. IMTA-CNA, *Estudio de evaluación de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Durango, Dgo.*, Informe final del proyecto, 1991.
44. IMTA-CNA, *Estudio de evaluación de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Xalapa, Ver.*, Informe final del proyecto, 1991.
45. IMTA-CNA, *Estudio de evaluación de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Veracruz, Ver.*, Informe final del proyecto, 1991.
46. IMTA-CNA, *Estudio de evaluación de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Campeche, Camp.*, Informe final del proyecto, 1992.
47. IMTA-CNA, *Estudio de evaluación de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ciudad de San José del Cabo, B.C.*, Informe final del proyecto, 1991.
48. IMTA-CNA, *Estudio de evaluación de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Coahuaco, Ver.*, Informe final del proyecto, 1991.
49. IMTA-CNA, *Estudio de evaluación de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Cuernavaca, Mor.*, Informe final del proyecto, 1992.

50. IMTA-CNA, *Estudio de evaluación de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de Cd. Juárez, Chih.*, Informe final del proyecto, 1991.

51. IMTA-CNA, *Estudio de evaluación de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Chihuahua, Chih.*, Informe final del proyecto, 1991.

52. IMTA-CNA, *Estudio de evaluación de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Villahermosa, Tab.*, Informe final del proyecto, 1992.

53. IMTA-CNA, *Estudio de evaluación de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Oaxaca, Oax.*, Informe final del proyecto, 1991.

54. IMTA-CNA, *Estudio de evaluación de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Querétaro, Qro.*, Informe final del proyecto, 1992.

55. IMTA-CNA, *Estudio de evaluación de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Constitución, B.C.*, Informe final del proyecto, 1991.

56. IMTA-CNA, *Estudio de evaluación de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Zacatecas, Zac.*, Informe final del proyecto, 1991.

57. IMTA-CNA, *Estudio de evaluación de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Chetumal, Qroo.*, Informe final del proyecto, 1992.

58. IMTA-CNA, *Estudio de evaluación de pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ciudad de León, Gto.*, Informe final del proyecto, 1992.