

41  
20/



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

METODO DE SECTORIZACION PARA  
RECUPERACION DE CAUDALES EN REDES DE  
AGUA POTABLE

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A :  
BELIA MARTINEZ SALDIVAR

DIRECTOR: M.I.J. HECTOR MONTOYA MACIEL



MEXICO. D. F.

1999

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

273791



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-007/98

Señorita  
**BELIA MARTINEZ SALDIVAR**  
Presentes

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. JOSE HECTOR MONTOYA MACIEL**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**

**"METODO DE SECTORIZACION PARA RECUPERACION DE CAUDALES EN REDES DE AGUA POTABLE"**

- INTRODUCCION**
- I. METODOS PARA LA DETECCION DE FUGAS**
  - II. MACROMEDICION**
  - III. SECTORIZACION**
  - IV. DESCRIPCION DE LA SECUENCIA DE ACTIVIDADES PARA SECTORIZACION**
- CONCLUSIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria a 19 de marzo de 1998.

EL DIRECTOR.



ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS  
JMCS/GMP\*lmf

A Dios	Por las innumerables muestras de su presencia en mi vida
A mis padres	De quienes he recibido ejemplo de honradez y constancia. Por su amor, esfuerzo y entrega.
A mis hermanos	Por ser parte esencial en mi vida.
A mi tía Esther	Por su inmenso cariño y apoyo.
A Héctor Rodríguez	Por su comprensión y por estar a mi lado.
A mis amigos	Por su amistad y compartir conmigo inolvidables momentos
A mis compañeros de trabajo	Principalmente a Alfonso Rojas, por su invaluable ayuda para la realización de este trabajo
A los Ingenieros	Fernándo Envila y Alexandro Lagny por su apoyo.
Al Ing. Felipe Cardeña	Por sus enseñanzas y la ayuda proporcionada para la elaboración de este trabajo.
A la Universidad Nacional Autónoma de México	Por haberme dado la oportunidad de estudiar la carrera.
A mis maestros	Por transmitirme parte de sus experiencias y conocimientos.
A mis sinodales	Por brindarme su tiempo y atención.

**GRACIAS**

## DEDICADO

Al Ing. Juan Ruiz con todo cariño y agradecimiento por haber confiado en mí, por su apoyo y sus valiosas enseñanzas.

"METODO DE SECTORIZACION

PARA RECUPERACION

DE CAUDALES EN REDES

DE AGUA POTABLE"

# INDICE

	Página
<b>INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>1 METODOS PARA LA DETECCION DE FUGAS</b>	<b>3</b>
1.1 Métodos basados en inspección visual del terreno	
1.1.1 Afloramiento del agua en las calles	4
1.1.2 Inspección de la humedad del suelo	4
1.1.3 Aparición de pequeñas corrientes	4
1.1.4 Crecimiento frondoso de vegetación en un punto determinado	4
1.1.5 Presencia de agua limpia en los colectores	5
1.2 Métodos basados en la presión interior de la tubería	
1.2.1 Estudios pitométricos	6
1.2.2 Golpe de Ariete	9
1.2.3 Presión Diferencial	10
1.3 Métodos basados en interpretaciones acústicas	10
1.3.1 Varilla de sondeo	11
1.3.2 Geófonos Mecánicos	12
1.3.3 DF JUNIOR	13
1.3.4 Correlador Acústico	14
1.3.5 Aqualog	18
1.4 Métodos que usan indicadores	19
1.4.1 Oxido Nitroso disuelto en agua	19
1.4.2 Sal disuelta en agua	19
1.4.3 Aire con helio	20
1.4.4 Metano con Nitrogéno	20
1.4.5 Metano Argón	20

<b>2</b>	<b>MACROMEDICION</b>	
2.1	Definición y objetivos	21
2.2	Localización de puntos de medición	
2.2.1	Criterios Generales	22
2.2.2	Criterios específicos	23
2.3	Selección e instalación de medidores	
2.3.1	Factores que influyen en la selección de medidores	28
2.3.2	Instalación y montaje de medidores	31
2.4	Medidores de caudal	
2.4.1	Medidor Deprimógeno	32
2.4.2	Tipo Pitot	33
2.4.3	Medidor electromagnético	34
2.4.4	Medidor ultrasónico	35
2.6	Obtención del balance hidráulico	36
<b>3</b>	<b>SECTORIZACION</b>	
3.1	Definición en gabinete de la zona de sectorización	40
3.2	Ubicación del punto de medición	46
<b>4</b>	<b>DESCRIPCION DE LA SECUENCIA DE ACTIVIDADES</b>	
4.1	Verificación en campo de la zona de sectorización	47
4.2	Mantenimiento de cajas de válvulas	49
4.3	Instalación y cambio de válvulas	50
4.4	Identificación de tuberías dudosas	51

4.5	Elaboración de planos de los sectores	51
4.6	Preparación de abrazaderas y válvula de inserción	52
4.7	Construcción de cajas	53
4.8	Verificación del cierre de sector	54
4.9	<i>Realización del Step</i>	55
4.10	Interpretación de datos	58
4.11	Detección de fugas	63
4.12	Step de control y programa de mantenimiento	67
	<b>CONCLUSIONES</b>	69
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	71
	<b>ANEXOS</b>	72

## INTRODUCCIÓN

Un sistema de abastecimiento de agua potable esta integrado por unidades operacionales que conducen el agua desde una fuente natural hasta el consumidor, y que conforman a su vez los sistemas de producción y distribución.

Tanques, plantas de bombeo, conducciones, plantas de tratamiento, redes de distribución, son ejemplos de unidades operacionales.

El sistema de producción comprende todas las unidades operacionales situadas aguas arriba de la salida de las instalaciones de tratamiento o simples puestos de desinfección.

El sistema de distribución es la parte del sistema de abastecimiento de agua ubicada entre los puntos a partir de los cuales el agua se torna potable (salida de plantas de tratamiento, unidades de desinfección) y los puntos de utilización del agua en las instalaciones prediales. Comprende el sistema público de distribución y el sistema predial.

Al proyectar un sistema de abastecimiento de agua potable se establecen consumos que se supone permitirán satisfacer las necesidades normales de los usuarios.

Cuando no existe un control, la producción prevista para atender a la totalidad de los usuarios llega a ser insuficiente antes de lo esperado, y el problema de insuficiencia tiende a solucionarse generalmente, con programas de expansión de producción, siempre costosos y que desequilibran los proyectos.

Sin embargo, aunque exista un control de la producción, es común que la relación producción-demanda se encuentre desequilibrada por la existencia de fugas en las red de distribución, ya sea por su antigüedad, calidad de los materiales o escaso mantenimiento.

Por lo tanto, el óptimo aprovechamiento de un sistema de abastecimiento de agua potable requiere la adopción de dos acciones básicas:

- 1 Implantación de un sistema de macromedición
- 2 Establecimiento de un programa de control de perdidas

La macromedición es fundamental para tener un control del agua captada, producida y distribuida en un sistema de abastecimiento de agua potable. Con los datos hidraulicos proporcionados por los medidores es posible determinar la eficiencia de las unidades operacionales, así como programar y ejecutar la operación del sistema.

La sectorización mediante el aislamiento de la red en tramos de menor longitud y análisis de consumos nocturnos permite tener un control de las perdidas, así como conocer el funcionamiento hidraulico de la red y por consiguiente mejorar las condiciones de operación

Por las siguientes características, las fugas pueden clasificarse en dos tipos:

**Fugas visibles:** Son aquellas que afloran a la superficie; se pueden localizar fácilmente, por lo que no representan mayor problema.

**Fugas no visibles:** Como su nombre lo indica este tipo de fugas no se pueden observar, debido a que el subsuelo absorbe el agua, o bien, es canalizada a la red de alcantarillado

Para eliminar las fugas no visibles existen algunos métodos, que van desde la inspección visual del terreno hasta el uso de indicadores y sofisticados equipos basados en interpretaciones acústicas. Sin embargo su eficiente eliminación y reducción de periodo de vida a un mínimo de tiempo requiere además de ello , de una metodología.

## 1 METODOS PARA LA DETECCION DE FUGAS

Una fuga se define como la salida no controlada del agua por cualquiera de los elementos de un sistema de distribución de agua potable, ocasionando cuantiosas pérdidas, por lo que es necesaria su detección y reparación.

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

En una red de distribución, las fugas pueden presentarse como consecuencia de: agrietamiento transversal, aplastamiento y agrietamiento longitudinal; el primer caso se debe a esfuerzos y vibraciones producidas por cargas superficiales; el segundo es resultado de una construcción defectuosa y el tercero se debe a fatiga de materiales, defectos de fabricación o golpe de ariete

En tomas domiciliarias, las fugas pueden ser por rajadura, perforación, corte o piezas flojas. El primer y cuarto caso se asocia a una mala calidad de materiales empleados o instalación deficiente, el segundo y tercer caso a factores externos.

Se presentarán casos en que será fácil advertir la existencia de una fuga, por ejemplo, al observar agua brotando en el pavimento, pero también se presentarán casos en que por lo permeable del terreno, difícilmente se conocerá la fuga. En este capítulo se analizarán en forma general algunos de los diferentes métodos de detección de fugas de agua potable.

Dentro de los diferentes métodos con que se cuenta en la actualidad, existen algunos muy costosos que además requieren técnicos especializados así como métodos económicos que no los requieren: los métodos que se describirán en este capítulo son particulares para cada caso y su aplicación dependerá de las circunstancias y características del problema a resolver, así como los recursos económicos con que se cuente.

## **1.1 Métodos basados en la inspección visual del terreno**

### **1.1.1 Afloramiento del agua en las calles**

La inspección visual del terreno u observación directa difícilmente puede ser llamado un método, sin embargo se requiere cierta práctica para poder detectar si algún escurrimiento en la calle se debe o no a una fuga. Para determinarlo se tendrá que verificar la procedencia del escurrimiento siguiendo la línea de fuga aguas arriba hasta localizar el punto de afloramiento del agua.

En la aparición de escurrimientos en la calle intervienen las condiciones del terreno ya que en un terreno permeable y con una fuga en la parte inferior de la tubería sería difícil que la fuga se vea escurriendo en las calles, lo que no sería difícil con un terreno impermeable y rotura en la parte superior de la tubería. Cuando existe una fuga el agua ablanda los terrenos y crea la posibilidad de ocasionar rompimientos del pavimento, cuando la calle se encuentra pavimentada.

### **1.1.2 Inspección de la humedad del suelo**

Consiste en inspeccionar el terreno con una varilla metálica y de punta aguda llamada varilla de sondeo; la inspección se realiza enterrando la varilla de sondeo y sacándola enseguida para ser revisada, si la varilla está húmeda o lodosa se ha alcanzado la línea de fuga. desde luego esta inspección no puede realizarse en terrenos pavimentados o terrenos muy duros, ni en época de lluvias, por lo que puede aplicarse únicamente en las zonas rurales.

### **1.1.3 Aparición de pequeñas corrientes**

En algunas ocasiones se presentan pequeñas corrientes en terrenos donde es musitada su presencia, esto implica que muy probablemente sea una fuga la que haga aparecer estas pequeñas corrientes.

Estos métodos necesitan de técnicos con mayor destreza para realizar la observación del terreno, además de no ser muy precisos ya que el agua no siempre aparece cerca del lugar aparente de la fuga.

### **1.1.4 Crecimiento frondoso de vegetación en un punto determinado**

Este método funciona principalmente en terrenos secos o semisecos, si en un terreno seco aparece inesperadamente determinada vegetación no propia del lugar indicara la posibilidad de fuga, también la vegetación verde en sequias y climas secos dará indicios de posibles fugas

### 1.1.5 Presencia de agua limpia en los colectores

En algunas ocasiones se presentan incrementos inexplicables del gasto en tuberías del alcantarillado, flujos excesivos en alcantarillas, agua corriente en los colectores y al inspeccionar, el agua es menos turbia, esto puede indicar la presencia de una fuga en alguna parte de la red de distribución.

Por especificación, las tuberías de agua potable se tienden arriba de las de alcantarillado, esto por si las tuberías de alcantarillado presentan fugas y el agua de desecho no se infiltre a las tuberías de agua potable. Por lo tanto si una tubería de agua potable presenta fuga, posiblemente se infiltre a las tuberías de alcantarillado e incremente su gasto.

## 1.2 Métodos basados en la presión interior de la tubería

### 1.2.1 Estudios Pitométricos

#### a) Prueba del flujo de hidrantes

Las pruebas del flujo de hidrantes como se llevan a cabo comúnmente, incluyen:

- Observación de la presión en un hidrante situado centralmente durante la realización de la prueba.
- Medición de flujo combinado con un grupo de hidrantes vecinos, las cargas de la velocidad en los chorros salientes de los hidrantes se miden generalmente mediante tubos pitot.

El bloqueo, es decir el cierre total de una válvula de un tramo de tubería en un sistema de distribución de agua potable y el incremento en las velocidades de uso por desecho o por fugas puede causar la caída de presión en alguna parte del sistema

La presión a través del sistema deberá ser determinada agregando medidores de presión a hidrantes y otros lugares descables. Una presión anormalmente baja indicará un problema entre el punto de baja presión y el punto más cercano de *presión normal*. Observaciones adicionales de presión, localizan el lugar del problema (fuga de agua) con mayor exactitud

FALTA PAGINA

No.

7

b) Cambio de la pendiente piezométrica

El sistema consiste en tomar presiones y determinar el perfil de la línea piezométrica.

Si el diámetro es uniforme y la fuga esta en D, deberá tenerse:

$J1/L1$  Mayor que  $J2/L2$  entonces la fuga de agua estará localizada donde cambie la pendiente piezométrica. (Fig. 1.2.3)

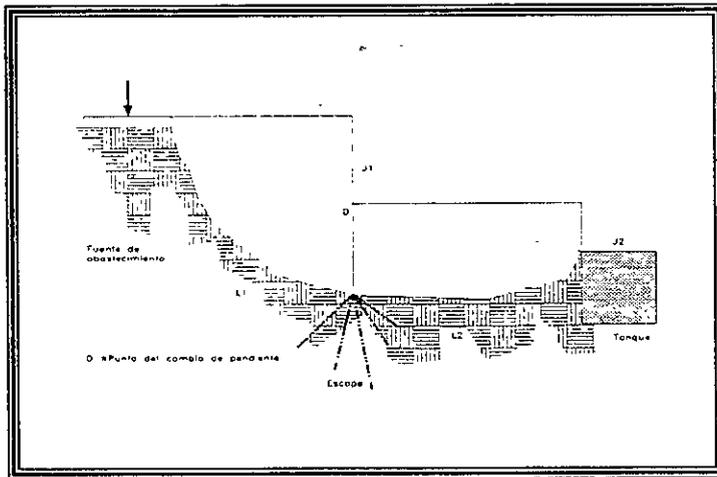


Fig. 1.2.3 Cambio de pendiente piezométrica

### 1.2.2 Golpe de Ariete

La aplicación del golpe de ariete para localizar una fuga en una red de distribución de agua potable, requiere de ciertas condiciones favorables: un largo tramo de tubería sin ramales importantes, una válvula abierta sobre la línea hasta que la velocidad del flujo llegue a ser constante y entonces la válvula sea repentinamente cerrada.

Se registra el instante en que la válvula se cierra, así como la presión en la tubería. La onda de presión causada por el golpe de ariete viajará a lo largo de la tubería hasta el punto donde ocurra la fuga y donde una parte de la onda de presión será disipada; la onda de presión disminuida viajará entonces de regreso hasta el medidor de presión en la válvula y se observará una caída de presión, entonces la onda ha viajado dos veces la distancia entre la fuga y la válvula.

La velocidad de movimiento de la onda de presión se muestra en la siguiente ecuación:

$$D = \frac{TV}{2}$$

Donde

D=Distancia a la fuga (m)

T=Tiempo en segundos (s) para que la onda de presión regrese a la válvula

V=Velocidad de viaje de la onda de presión (m/s)

### 1.2.3 Presión diferencial

La existencia y posición de una fuga puede determinarse midiendo la presión a lo largo del conducto que se está inspeccionando, para establecer con esos valores una gráfica de gradiente. La existencia de una fuga se verifica cuando el gradiente de presión muestra una discontinuidad o cambio hacia ambos lados de la fuga.

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

La presión debe medirse en el punto más cercano a la línea principal de la red de distribución, el cual generalmente es en el cuadro donde se instala el medidor domiciliario.

Debe verificarse que no haya flujo a través de la toma hacia dentro del domicilio.

En el caso de que existan presiones menores a  $0.5 \text{ Kg/cm}^2$  se recomienda el uso de un manómetro en "U" abierto utilizando mercurio como líquido manométrico. Para presiones mayores se puede utilizar un manómetro Bourdon con una escala adecuada ( $0.4$  a  $0.7 \text{ Kg/cm}^2$ ). Si no se sabe el rango de presiones existente, primero se deberá utilizar el de mayor escala.

Las mediciones de la presión se realizan en la toma seleccionada y en las adyacentes, o bien, en una adyacente y en una enfrente. Se debe revisar antes que dichas tomas estén conectadas a la misma línea, ya que podrían estar conectadas a dos líneas diferentes en la misma calle. Dichas mediciones deberán hacerse en un período de tiempo no mayor a 30 minutos

Al medir la presión, se debe verificar que el punto de medición se encuentre a la misma altura en todas las tomas respecto a un plano de referencia, el cual puede ser el nivel de la acera; o bien, hacer el ajuste correspondiente al comparar las presiones medidas, registrando el desnivel entre ellas midiendo con un nivel de mano.

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

### 1.3 Métodos basados en interpretaciones acústicas

Cuando se produce una fuga en la tubería, la alta presión que hay en ella empuja el agua a través de la fractura o agujero de la pared del tubo hacia la presión más baja que hay en el exterior. Este movimiento del fluido a través de la fuga, desde la presión alta hacia la presión baja, causa variaciones de presión al azar en la zona cercana a la fuga. Estas variaciones de presión pueden oírse usualmente en forma de ruido. Se trata éste del clásico ruido de fuga que ha servido durante años para que los inspectores de pérdidas de agua ubiquen las fugas de agua usando estetoscopios y aparatos electrónicos de escucha.

Estos métodos se pueden agrupar en función del tipo de equipo utilizado:

- a) Detección con equipos mecánicos
- b) Detección con equipos electrónicos

Los equipos mecánicos son instrumentos que captan el sonido y lo transmiten de la misma manera que un estetoscopio médico.

Por su parte los equipos electrónicos son instrumentos que captan el sonido de las fugas mediante un micrófono colocado en el piso, o mediante un radio transmisor y un receptor que se instalan sobre las tuberías, estos equipos se clasifican en:

- a) Equipos de detección directa
- b) Equipos de detección indirecta

#### 1.3.1 Varilla de sondeo

Las varillas de sondeo son equipos mecánicos muy simples. No obstante, aún dentro de esta simplicidad, existen equipos más o menos sofisticados.

La investigación de la fuga se realiza colocando un extremo de la varilla contra el suelo, o directamente en el tubo, y el otro contra el oído del operador, siendo posible de esta forma escuchar el ruido de una eventual fuga.

En la figura 1.3.1 se muestra una de las varillas más sofisticadas. Estos modelos son denominados estetoscopios industriales o hidrófonos, y se fabrican en varios tamaños.

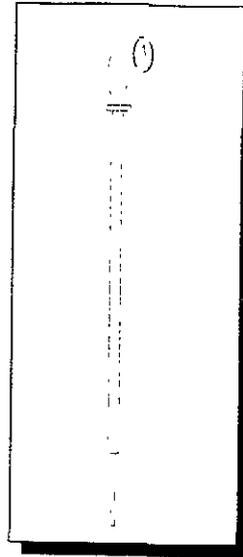


Figura 1.3.1 Varilla de sondeo

### 1.3.2 Geófonos Mecánicos

El geófono mecánico es un equipo compacto, robusto, simple y preciso, destinado a detectar y localizar fugas no visibles, a través de la auscultación del suelo bajo el cual existe una tubería enterrada.

Consta de dos cilindros pesados, conectados a través de mangueras a un auricular, del mismo tipo que el utilizado en los estetoscopios médicos. En el interior de cada cilindro existen dos membranas finas de bronce, separadas por un anillo pesado de plomo, lo que forma una caja de resonancia. Cuando el cilindro se coloca en el suelo, capta las vibraciones emanadas de la fuga, lo que hace que vibre la membrana inferior y la membrana superior. Esta vibración es luego transmitida al operador, a través de la propagación de las ondas sonoras a lo largo de las mangueras y el auricular.

Los sensores del geófono deben ubicarse sobre el suelo, distantes uno del otro tanto como sea posible; luego se colocan los auriculares en los oídos, y en caso de no escuchar ruidos se pasa para otro punto de la tubería. El geófono debe colocarse cada cinco metros a lo largo de la tubería, siendo necesario ponerlo también en cada ramal

### 1.3.3 DF JUNIOR

Es un localizador electrónico de detección directa de fugas, cuyo funcionamiento consiste en captar las vibraciones emanadas de una fuga, transformar esas vibraciones en impulsos electrónicos, ampliar la señal, separar la señal de las demás señales que interfieren y nuevamente transformar esa señal resultante en señales sonoras, audibles por un operador.

Las señales pueden captarse por medio de los audífonos y por un indicador de carátula. La fuga se localiza cuando la señal recibida es la más alta al colocar el micrófono de piso en varios puntos sobre alguna tubería.

Consta de las siguientes partes principalmente:

- Micrófono
- Amplificador
- Indicador de carátula
- Audífonos

La salida del amplificador alimenta el indicador de la señal y los audífonos.

El indicador de señal es un dispositivo utilizado para medir la intensidad total del ruido recibido por el micrófono, y es bastante útil para determinar el punto exacto en el que se encuentra la mayor intensidad de ruido provocado por la fuga. Su precisión puede ser mayor que la precisión de los detectores mecánicos, ya que estos últimos dependen mucho más de la habilidad del operador.

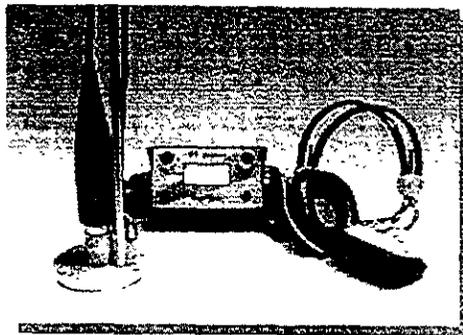
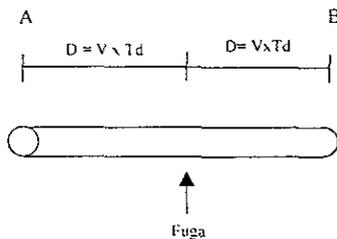


Fig 1 3 2 DF Junior

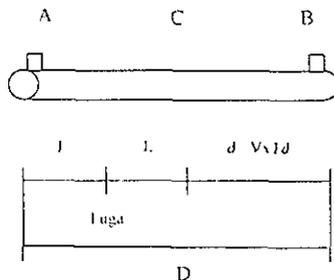
### 1.3.4 Correlador Acústico

Este equipo se clasifica en el grupo electrónico indirecto. Determina el tiempo que necesita el ruido producido por la fuga para recorrer una distancia conocida a lo largo de la tubería.

El ruido de la fuga viaja a lo largo de la tubería lejos de su origen (la fuga), en ambas direcciones al mismo tiempo. Lo hace a una velocidad fija, la cual depende del material de la tubería y de su tamaño. Esto significa que el ruido recorrerá exactamente la misma distancia desde la fuga, en ambas direcciones, en un determinado período de tiempo.



El proceso de correlación mide la diferencia en los tiempos de llegada del ruido a dos puntos de medición a una cierta distancia en la tubería, usando para ello el tiempo de recorrido del ruido de fuga.



El correlador "escucha" el ruido en los dos puntos A y B. Uno de los puntos, A en este ejemplo, está más cercano a la fuga que el otro. El correlador mide el tiempo que necesita el ruido para trasladarse del punto C al punto B. En el diagrama puede apreciarse que la relación entre D, la distancia total entre los puntos de medición, L, la distancia de la fuga desde el punto de medición A; y d, la distancia desde el punto C y el punto de medición B, es proporcionada por

$$D = L + L \cdot d$$

$$D = 2L + d \quad (2.1)$$

Si la velocidad del ruido en la tubería es  $V$  y el tiempo que necesita el ruido para recorrer la distancia  $d$  es  $T_d$ , entonces la ecuación 2.1 se convierte en:

$$D = 2L + (T_d \times V)$$

Lo que resulta en:

$$L = \frac{D - (T_d \times V)}{2}$$

Ecuación 2.2

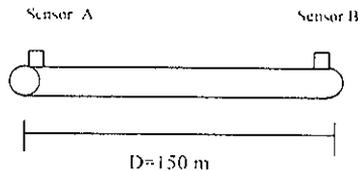
Los hechos importantes son:

- Puede medirse la distancia total entre los puntos de medición
- Se conoce la velocidad  $V$  del ruido de la fuga en la tubería para su tamaño y material específicos
- El correlador mide el tiempo que necesita el ruido para recorrer la distancia  $d$

Por lo tanto, el único factor desconocido es  $L$ , la distancia de la fuga desde el punto de medición A y puede ser fácilmente averiguado. Por ejemplo, una situación típica pudiera ser para una tubería de hierro colado de 4".

Distancia  $D$  entre los puntos de medición = 150 metros.

Velocidad del ruido de fuga en una tubería de hierro colado de 4" = 1400 m/s



La ubicación de la fuga determinada por el correlador es un retraso en tiempo de 0.03571 segundos y está determinada por:

$$L = \frac{150 - (0.03571 \times 1400)}{2}$$

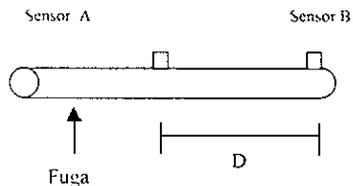
$$L = \frac{150 - 50}{2}$$

$L = 50$  metros (Desde el micrófono A)

La explicación y el ejemplo anteriores exponen los principios básicos de las técnicas de correlación para la localización de fugas y cuando el tramo de tubería que está siendo investigada conste de un solo tipo de material y predomina un diámetro único.

Existen otras situaciones en las que el trazado de la tubería y la posición de la fuga son diferentes. Hay dos formas básicas:

Fuera de los sensores:

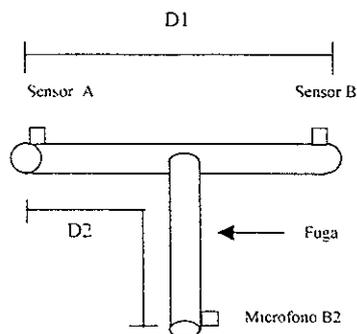


En este caso la fuga está fuera de los sensores, en vez de estar entre ellos. El ruido de la fuga pasará por delante del sensor A y del sensor B y, por lo tanto, la demora en tiempo será la demora máxima desde A a B. El pico de correlación aparecerá pues en el sensor A, es decir, en el extremo más alejado de la función de correlación. Una vez que se haya producido el pico de correlación en el extremo más alejado de la pantalla de representación, deberán colocarse de nuevo los sensores de manera que la fuga quede entre los sensores.

Cuando la fuga está en una tubería de conexión:

En este caso, el ruido de la fuga se desplaza a lo largo de la tubería de conexión hasta que llega a la conexión "T" y desde allí se extiende en ambas direcciones. El correlador tomará la medida en la posición de la conexión "T".

Cuando se sospeche que la correlación coincide con una conexión "T", uno de los dos sensores deberá moverse y colocarse dentro de la tubería de conexión para repetir la correlación. Esto se muestra en la figura, donde la segunda posición del sensor es B2 y la distancia resultante D2. Esta disposición proporcionará la posición correcta de la fuga.



Las vibraciones sonoras captadas por los sensores A y B se convierten en señales eléctricas, las cuales son amplificadas por preamplificadores y alimentan directamente el correlacionador.

El correlador retarda, progresivamente, una señal en relación a la otra, comparando en forma continua la similitud entre ellas. El resultado de la comparación entre las dos señales es medido y trazado en una carta gráfica. Cuando las dos señales coinciden se establece un pico de correlación, el cual se muestra en el visor.

El tiempo de retardo de la señal proveniente del sensor más próximo de la fugas hasta que las dos señales coincidan es igual a la diferencia entre los tiempos transcurridos por el ruido para alcanzar los puntos A y B.

El sistema del correlador consiste en

- La unidad del correlador
- Dos sensores micrófono
- Dos transmisores de radio
- Auriculares
- Programa de Computación

Al correlador esta integrado por una pantalla para indicación del esquema gráfico de localización de la fuga, con indicación de distancias de la fuga en relación a los sensores.

Las señales de los sensores son enviadas al aparato por radio. Los auriculares permiten escuchar el ruido tanto a través del Correlador como del transmisor de radio.

El programa de computación permite el análisis posterior, de vuelta a la oficina, del ejercicio de correlación finalizado descargando los datos en una computadora personal. Con

ello se vuelven a evaluar los resultados incluyendo, si fuere necesario, volver a colocar el cursor y volver a determinar la ubicación de la fuga. Los archivos de datos del trabajo finalizado pueden archivar en una base de datos para futura referencia.

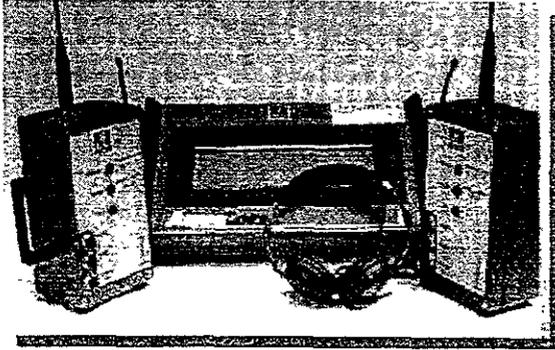


Fig. 1.3.3 Correlador acústico

### 1 3 5 AQUALOG

Es un detector de fugas por registro de sonido. El ruido de la fuga, se propaga a través del agua dentro de la tubería, y a través de la propia tubería. Los Aqualog son distribuidos estratégicamente en las válvulas y programados para activarse automáticamente por la noche, para monitorizar los ruidos de las conducciones y escuchar indicios de fuga.

El período de registro habitual es de 2 horas, normalmente a partir de las 2 de la madrugada. La variación estadística del ruido medido proporciona unas gráficas que identifican las áreas de existencia de fuga.

El registro nocturno de ruido en las conducciones, permite obtener con una mayor claridad, la identificación de fugas de agua, debido a que es en este período donde se produce un aumento de la presión y a la vez una disminución de ruidos ambientales y de consumo.

Los registros de ruido son vaciados a una PC donde por medio de un programa, bajo entorno Windows, los datos son tratados mediante un algoritmo de análisis estadístico obteniendo en forma gráfica y numérica de identificación y prelocalización de las posibles fugas existentes.

## 1.4 Métodos que usan indicadores

Esta técnica consiste en introducir a un tramo de la tubería una sustancia denominada indicador, que es inocua, inodora, sin sabor y fácilmente detectable en pequeñas cantidades.

Una vez que todo el tramo contiene el indicador, se presuriza a  $5 \text{ Kg/cm}^2$ . Cuando el agua que contiene el indicador se fuga de la tubería, regresa a la presión atmosférica y se separa de la solución. Entonces se efectúan huecos de sondeo a lo largo del tramo y se muestrea el aire dentro de los mismos con un analizador. En el hueco donde se detecte el indicador se localizará la fuga de agua.

Algunos de estos métodos son:

### 1.4.1 Óxido nítrico disuelto en agua

Una de las ventajas del óxido nítrico es que es soluble en el agua, de este modo la línea no tiene que ser desaguada antes de la prueba.

Un detector infrarrojo es muy específico para el óxido nítrico, de tal modo que no causan problemas los gases interferentes cuando se encuentra agua que contiene gas.

Una de las desventajas de este sistema es que el óxido nítrico es más pesado que el aire. Esto significa que las fugas pueden encontrarse únicamente en la profundidad de la tubería maestra, además los gases más pesados que el aire tienen mayor dificultad para ser localizados y el equipo es muy costoso.

### 1.4.2 Sal disuelta en agua

Una concentración de sal ( $\text{NaCl}$ ) ligeramente incrementada puede ser usada en la detección de una fuga encontrando por análisis químico un incremento en el contenido de cloruro en el agua que probablemente escape de una tubería dentro de la cual fue agregada la sal, la concentración no debe ser tan grande de tal manera que no puede ser detectada por los usuarios.

Otra manera de medir el contenido de sal es por medio de conductividad eléctrica. Este es un parámetro que mide la salinidad del agua y también es proporcional a los sólidos que contiene.

### 1.4.3 Aire con helio (Generalmente 10% de helio y 90% aire)

Con este sistema la tubería debe ser desaguada antes de que la mezcla de helio y aire sea introducida. El helio tiene la ventaja de tener una molécula extremadamente pequeña y además muy ligera. Esta molécula es detectable por conductividad térmica o sonido comparativo.

### 1.4.4 Metano con Nitrógeno

Una mezcla del 2.5% de metano con nitrógeno, usando ionización de flama\*, como detector es un método extremadamente efectivo, debido a que el metano es más ligero que el aire, no requiere de una prueba previa para la localización de la fuga pero, sin embargo, la tubería tiene que ser desaguada, la detección de metano por ionización de flama es posible en el rango de algunas partes por millón (p.p.m) y aún en bajas concentraciones de metano es detectable fácilmente.

### 1.4.5 Metano Argón

Esta mezcla tiene la ventaja de poseer un componente más pesado y otro más ligero que el aire, el metano es detectable por ionización de flama y el argón por sonido comparativo, actuando como un gas que confirma la localización, puede ocurrir una transferencia con trazadores de metano y helio como resultado de fugas de gas natural o metano producido en la naturaleza, por lo tanto para la utilización de este método es necesaria la inspección previa del área.

Comparados con las inspecciones por sonido, las inspecciones con indicadores de gas son extremadamente costosas y por tanto deberán ser consideradas cuando el sonido sea impracticable.

---

\* Producción de iones (radical simple o compuesto que se disocia de las sustancias al resolverse estas, y da a las disoluciones el caracter de la conductividad eléctrica) por subdivisión de una molécula en fragmentos electrizados por medio de una flama

## 2 MACROMEDICION

### 2.1 Definición y Objetivos

La Macromedición es el conjunto de equipos, elementos y actividades cuyo objetivo es cuantificar los caudales captados, conducidos y distribuidos en un sistema de abastecimiento de agua potable para su adecuada operación, mantenimiento y administración, siendo por tanto un instrumento indispensable en la ejecución de las siguientes actividades:

- a) Obtener la dotación per cápita real de los sistemas y distintos sectores de abastecimiento de agua.
- b) Determinar los volúmenes y caudales de agua entregados en los sectores de producción y comparar la disponibilidad con la demanda de agua.
- c) Obtener las presiones en las diferentes zonas de presión, así como la homogeneidad de presiones en la red de distribución.
- d) Evaluar las condiciones hidráulicas reales de funcionamiento de los sistemas de abastecimiento de agua.
- e) Planear y ejecutar los programas de mantenimiento preventivo y correctivo de conductos, redes, instalaciones electromecánicas y plantas de tratamiento.
- f) Determinar los volúmenes de agua no facturados.
- g) Determinar los componentes de las pérdidas en el sistema de distribución
- h) Evaluar el sistema de micromedición existente, grado de exactitud, precisión y sensibilidad de los equipos, grado de eficiencia de lecturas y procesamiento de datos

Para la realización de dichas actividades, es necesario efectuar mediciones de caudal y presión obtenidas de equipos instalados en puntos estratégicos del sistema de abastecimiento de agua.

La medición de caudal permite evaluar, desde el punto de distribución de agua por las tuberías y demás Unidades Operacionales, el comportamiento del sistema en función de su configuración física y en función de las demandas de agua.

Las mediciones de presión identifican la falta o disponibilidad de agua en un punto dado del sistema de abastecimiento.

## 2.2 Localización de puntos de medición

El sistema de Macromedición desde el punto de vista de cuantificación y localización de los medidores se establece principalmente en base al tamaño y complejidad del sistema de abastecimiento de agua así como en los usos y aplicaciones de las variables a medir.

La cantidad de medidores debe ser tal que proporcione los parámetros suficientes para la evaluación hidráulica del sistema de abastecimiento de agua.

En cuanto a la ubicación, más adelante se indican los puntos comunes donde es importante medir en sistemas de abastecimiento para ciudades con población urbana entre 100,000 y 500,000 habitantes

### 2.2.1 Criterios Generales

Para determinar la ubicación de los medidores es necesario considerar los siguientes criterios:

#### a) Medición de Caudal

- En una misma tubería se mide solamente en un punto cuando no hay derivaciones o distribución entre los mismos ya que si se tienen dos medidores en serie se obtienen los mismos caudales a cada instante.

Aunque la adopción de los dos puntos permite controlar las pérdidas de agua en el conducto, principalmente cuando el mismo es de gran longitud o tiene cajas de paso, no es conveniente debido a que se incrementa exageradamente el costo del proyecto.

- Localizar medidores en las salidas de las Estaciones de Tratamiento de Agua y Estaciones de Bombeo, con el propósito de medir directamente los caudales producidos o a presión y evaluar el funcionamiento de las bombas.

- Cuando el sistema de abastecimiento de agua de una localidad se abastece de agua de otra localidad, ubicar medidores de caudal, de ser posible en la línea limítrofe de municipios, para medir el caudal transferido de una localidad a otra

#### b) Medición de Presión

- Localizar puntos de medición en las tuberías de succión de las bombas con eje horizontal, midiendo cada bomba de las estaciones de bombeo. La instalación del medidor puede ser efectuada en la propia brida de succión de las bombas

La medición de presión en las tuberías de succión suministra información de las pérdidas de carga en todo el conducto de succión.

Auxilia en la operación de la estación de bombeo, alertando a los operadores que las bombas funcionan en puntos de trabajo expuestos a cavitación.

- Localizar puntos de medición en las tuberías de presión inmediatamente aguas abajo de cada bomba de una estación de bombeo. La instalación del medidor puede ser efectuada en la propia brida de descarga de las bombas.

La medida de presión en la descarga, analizada con el caudal descargado y la presión de succión, suministra el punto de trabajo de la bomba (gasto por altura manométrica total).

En caso de que la estación de bombeo, descargue directamente a la red de distribución, la presión de descarga suministra elementos para decidir el funcionamiento o paro de los equipos de bombeo.

- Localizar en cada zona de presión del sistema de distribución un punto para medición permanente de presión. Los medidores de presión deben ser ubicados en los puntos más desfavorables de las redes primarias.

### 2.2.2 Criterios Específicos

Sistemas de abastecimiento para ciudades con población urbana entre 100.000 y 500.000 habitantes

#### a) Medidores en el sistema de producción

En el sistema de producción medir toda el agua captada utilizando el menor número de equipos de medición. La localización de los puntos debe ser efectuada de acuerdo con los siguientes criterios:

- Una caja de reunión capta las aguas provenientes de unidades operacionales de captación tales como pozos, manantiales y escurrimientos superficiales, cuando varias de estas captaciones se concentran en una misma caja de reunión se localiza el punto de medición a la salida de la caja.
- Si varias cajas de reunión envían agua a una última caja de reunión, el punto de medición será localizado a la salida de la última caja
- Cuando aguas abajo de la última caja de reunión hay uno o más tanques no medir a la salida de la caja, medir en la entrada de los tanques

- Si existen unidades de captación aisladas y ligadas directamente a estaciones de tratamiento de agua, tanques elevados o zonas presión, localizar el punto de medición en la salida de estas últimas.  
Si están ligadas directamente a un tanque no elevado el punto se localiza a la entrada del mismo.
- En las captaciones por gravedad, localizar los puntos de medición al inicio del conducto. Si existe caja de arena la medición debe efectuarse aguas abajo de la misma.
- Cuando el agua de una conducción por gravedad es conducida directamente a un tanque la medición se realiza a la entrada de este.
- En las captaciones a bombeo, medir de preferencia aguas abajo de la estación de bombeo.
- Si aguas abajo de la estación de bombeo se encuentra un tanque medir a la entrada del mismo.
- Cuando se tienen estaciones de bombeo en serie, se medirá a la salida del bombeo más próximo al manantial.
- Prever puntos para la medición de caudales en las salidas de las unidades de captación de agua subterránea para vigilar su eficiencia

#### b) Medidores en el sistema de distribución

En el sistema de distribución medir toda el agua producida utilizando el menor número posible de equipos de medición. La localización de los medidores debe ser de acuerdo a los siguientes criterios:

- Instalar medidores en todas las tuberías de salida de las Estaciones de Tratamiento de Agua
- Instalar medidores en las tuberías de entrada de los tanques de distribución .
- Cuando el agua que llega a un tanque proviene de unidades operacionales diferentes es necesario medir en cada una de ellas aisladamente
- Si se tienen tuberías llegando a los tanques y vienen de una misma unidad operacional, la medición puede efectuarse en una tubería que reúna toda el agua de las tuberías

- Cuando aguas arriba de un tanque no elevado se tenga una estación de tratamiento de agua medir en la llegada al tanque. Si en este mismo caso, existen derivaciones intermedias para alimentar otros tanques no elevados, se mide en las entradas de los tanques.
- Localizar puntos de medición de caudal en las tuberías de salida de las estaciones de bombeo de trasmisión del sistema de distribución, previendo tantos puntos como salidas se tengan para diferentes destinos.
- Si entre una Estación de bombeo y un tanque no elevado no hay derivaciones, medir en la tubería de llegada del tanque. Si en la conexión de una Estación de Bombeo y un tanque no elevado hubiera derivaciones para alimentar otros tanques no elevados, medir en las tuberías de llegada de todos los tanques.

En las figuras 2.2.1 y 2 2.2 la ubicación y cantidad de medidores se ha determinado de acuerdo a los criterios generales y específicos descritos

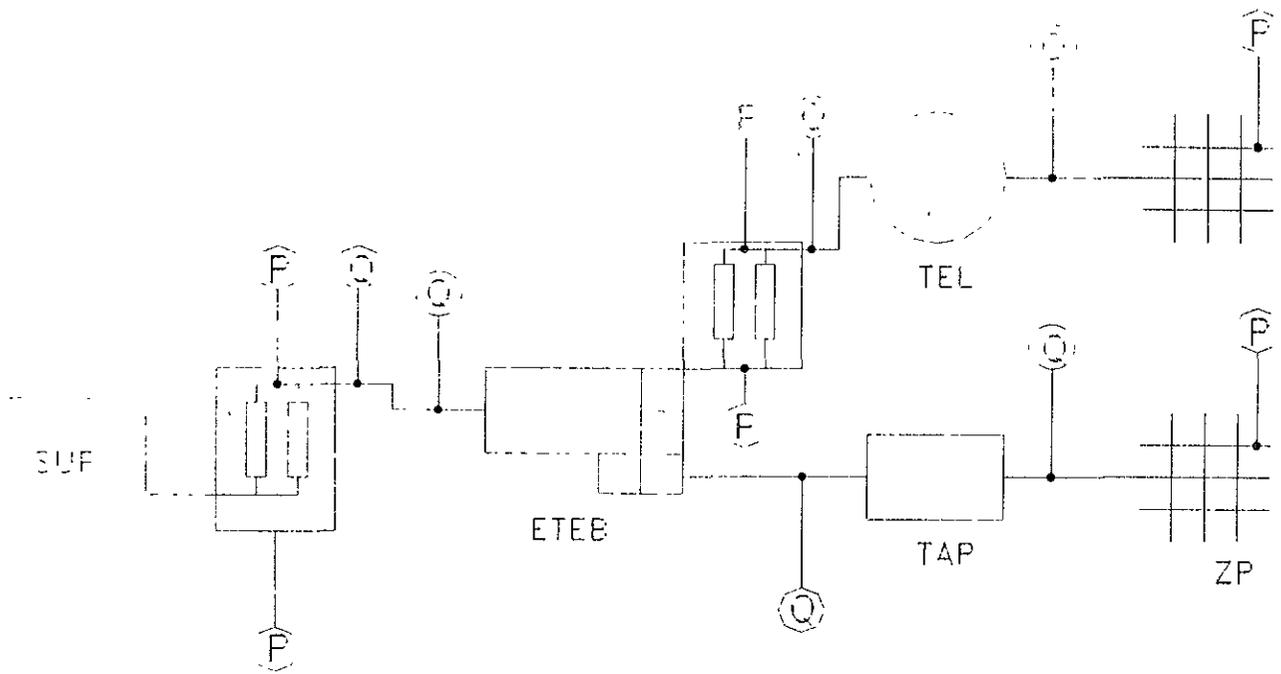


Fig 2.2.1 Ubicación de medidores de caudal y presión.

- SUF Curso superficial de almacenamiento de agua cruda
- EB Estación de bombeo
- ETA Estación de tratamiento
- TAP Tanque superficial
- ZP Zona de presión
- TEL Tanque elevado
- SUB Pozo profundo

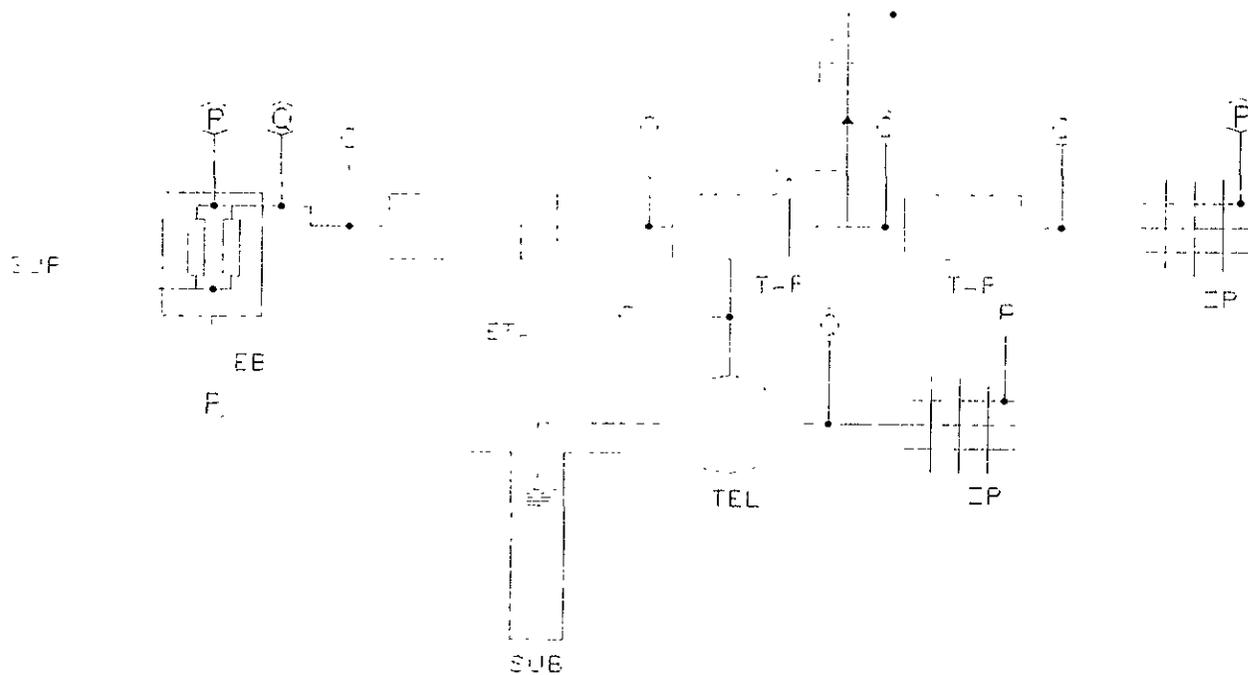


Fig. 2.2.2 Ubicación de medidores de caudal y presión.

- SUP Curso superficial de almacenamiento de agua cruda
- EB Estación de bombeo
- ETA Estación de tratamiento
- TAP Tanque superficial
- ZP Zona de presión
- TEL Tanque elevado
- SUB Pozo profundo

## 2.3 Selección e instalación de medidores

La selección de medidores es un factor determinante en el éxito de un sistema de macromedición. Esta selección está condicionada a una serie de factores que, debidamente ponderados, van a determinar la selección del medidor más apropiado a cada caso.

De un modo general, la selección de un medidor consiste en determinar el tipo y la capacidad más adecuados para cada caso. Sin embargo, la determinación de estos dos parámetros se correlaciona directamente con los siguientes factores:

- Condiciones del lugar de instalación
- Características físicas y calidad del agua del sistema de abastecimiento
- Condiciones hidráulicas del flujo de agua
- Características nominales de los medidores disponibles en el mercado
- Costos

### 2.3.1 Factores que influyen en la selección de los medidores

#### a) Condiciones del lugar de instalación

Entre estas condiciones se pueden destacar

- Altitud
- Agresividad del medio ambiente
- Disponibilidad local de la fuente de alimentación del aparato (energía eléctrica)
- Diámetro de las tuberías
- Tipos y patrones de las bridas
- Bases para su fijación y anclaje
- Cubiertas de protección
- Facilidades para su montaje de conformidad con las exigencias para la instalación del aparato.

## b) Características físicas y calidad del agua del sistema de abastecimiento

La calidad del agua constituye uno de los factores que mejor debe analizarse cuando se realiza la selección de medidores. Siempre se debe tener en mente que la precisión y sensibilidad del aparato pueden verse afectados por ese factor. Por otro lado, también es importante que el aparato se encuentre perfectamente compatibilizado con las condiciones físicas del agua en lo referente a:

- Peso específico
- Viscosidad
- Temperatura
- Agresividad
- Material sólido en suspensión

## c) Condiciones Hidráulicas del flujo de agua

- Caudales de trabajo
- Velocidades
- Presiones
- Sentido del flujo del líquido
- Características del flujo (continuo, intermitente, etc.)

## d) Características nominales de los medidores disponibles

La decisión sobre uno u otro medidor debe tomarse teniendo también en cuenta aspectos diferentes en cuanto a las características nominales de los aparatos disponibles en el mercado, compatibilizándolos con las condiciones de campo, así como con aspectos relacionados a la calidad de los productos

En cuanto a las características nominales, se destacan aquellas que se refieren a la especificación de los aparatos.

- Diámetro nominal
- Tamaño
- Tipo
- Serie
- Clase
- Rango de Trabajo
- Caudal mínimo nominal y columna diferencial correspondiente
- Desempeño
- Precisión
- Sensibilidad
- Accesorios

Por otro lado, la calidad del aparato debe ser definida tomando en consideración lo siguiente:

- Precisión y sensibilidad (curvas de precisión)
- Desempeño y funcionamiento
- Vida útil
- Accesorios
- Conexiones de acople
- Material de los componentes
- Acabado
- Protección del aparato, del operador y del proceso

e) Costo de medidores

En el análisis del costo de los medidores se debe considerar no solamente el costo de adquisición de los mismos, sino también el costo total capitalizado a lo largo del periodo de diseño.

- Costos de Instalación
- Consumos (energía eléctrica, materiales para su mantenimiento)
- Piezas de repuesto
- Gastos de mantenimiento y reparación
- Vida útil

### 2.3.2 Instalación y montaje de medidores

La instalación y montaje de los medidores es relativamente simple. Sin embargo, deben tomarse las siguientes precauciones:

Cuando entran en funcionamiento nuevas instalaciones, o después de que se han hecho reformas, se debe dejar circular agua en el sistema antes de instalar los medidores

Al pasar el líquido por el medidor no debe alterarse ninguna de las características físicas del fluido.

Debe limpiarse cuidadosamente antes de instalarse

No se instalan en puntos altos de la tubería, donde puede acumularse aire

De preferencia deben estar llenos de agua siempre. Al permanecer secos el aire ocasiona oxidación en los mismos disminuyendo con ello su precisión.

Su instalación correcta se localizará en relación al sentido del flujo del líquido.

Deberá ubicarse concéntricamente a la tubería, sin forzar el medidor ni la tubería.

Su colocación debe ser en un tramo de tubería libre de perturbaciones en el flujo.

Para evitar turbulencias que provoquen errores en la medición debe quedar colocado en un tramo de tubería recto, libre de piezas especiales, cambios de diámetro o de dirección

Cuando existen conexiones y/o accesorios en la tubería, se debe asegurar entre éstos y el medidor una tubería rectilínea cuya longitud mínima se determina en función del medidor empleado.

## 2.4 MEDIDORES DE CAUDAL

En el mercado existen una gran variedad de medidores, que pueden clasificarse de la siguiente manera:

### 2.4.1 Medidor Deprimógeno

Consisten básicamente de una reducción gradual o brusca de la sección del flujo en movimiento, ocasionando con esto un aumento de velocidad y una disminución de la presión en el fluido. De la correlación de la variación de presión con la velocidad, es posible cuantificar el caudal del escurrimiento.

Matemáticamente la correlación del diferencial de presión con la velocidad del escurrimiento para determinar el caudal está definida por:

$$V = C \sqrt{2gh} \quad Q = VA$$

$$Q = CA \sqrt{2gh} = K \sqrt{h}$$

Donde

V = Velocidad en la sección mínima en m/s

Q = Caudal en m<sup>3</sup>/seg

C = Constante de calibración del elemento primario, adimensional

A = Área de la sección mínima (garganta) en m<sup>2</sup>

g = Aceleración de la gravedad en m/seg<sup>2</sup>

h = Diferencia de presión en m

K = Producto de la constante

Entre los medidores deprimógenos se encuentran

- a) Venturi Largo
- b) Venturi corto
- c) Tubo Dall
- d) Tobera
- e) Placa de Orificio

## 2.4.2 Medidor tubo de Pitot

Este equipo permite detectar y transmitir a manómetros diferenciales las cargas que actúan en una vena líquida, está compuesto básicamente de dos tubos, uno de los cuales recibe la carga de impacto (alta presión), y el otro capta la carga de referencia (baja presión); de la diferencia entre la carga de impacto y la carga de referencia, se obtiene la carga dinámica, la cual es proporcional al cuadrado de la velocidad del flujo en movimiento.

Uno de ellos registra la energía de impacto, equivalente a la suma de la energía de posición más la energía cinética o de velocidad del fluido dentro de la tubería, que viene siendo:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g}$$

Y el otro registra únicamente la energía de posición.

$$\frac{P_2}{\gamma}$$

De la diferencia aritmética de estos dos registros se obtiene la energía de velocidad, expresada en metros columna del líquido empleado en el manómetro "U", que es donde se visualiza la diferencia de presión "d", por lo que la velocidad queda expresada en función de esta diferencia de presión, de acuerdo a las siguientes expresiones.

$$V = C_p \times \sqrt{2gH}$$

$$H = (\gamma_{lt} - 1)d$$

$$Q = V \times A$$

Sustituyendo,

$$V = C_p \times \sqrt{2g(\gamma_{lt} - 1)d}$$

Donde:

V = Velocidad media del caudal en m/seg

Q = Caudal en m<sup>3</sup>/seg

C<sub>p</sub> = Constante de calibración del tubo Pitot, adimensional; C<sub>p</sub>=0.802

A = Area de la sección de la tubería, en m<sup>2</sup>

g = Aceleración de la gravedad en m/seg<sup>2</sup>, 9.81 m/seg<sup>2</sup>

H = "Diferencial de presión" expresado en m

y = Producto de las constantes para simplificar la ecuación

d = Presión diferencial en mm leída en el manómetro diferencial

Sustituyendo valores se tiene:

$$V = 0.802 \sqrt{2 \times 9.81 (y_{11} - 1)d}$$

$$V = 3.5524 \sqrt{(y_{11} - 1) d}$$

La ecuación es aplicable a flujos no compresibles y con las siguientes condiciones:

- El flujo debe ser homogéneo y de características físicas conocidas
- Las condiciones del flujo (diámetro de la tubería, temperatura y presión del fluido) deben ser determinados con precisión.
- La tubería debe trabajar a presión (tubo lleno)

### 2.4.3 Medidor electromagnético

El principio fundamental de operación del medidor electromagnético se basa en la ley de Faraday, que dice: el voltaje inducido en un conductor, que se desplaza a través de un campo magnético, es proporcional a la velocidad de ese conductor.

Dos bobinas, colocadas una a cada lado del cuerpo del medidor, son excitadas por una corriente alterna u otra fuente intermitente, produciendo así un campo magnético uniforme, a través de la parte interna del tubo. Conforme pasa el agua a través del cuerpo del medidor, corta el campo magnético sufriendo una inducción de voltaje que es percibida por dos electrodos diametralmente opuestos, perpendiculares al campo magnético. Este voltaje inducido y captado por los dos electrodos es medido, haciendo posible así la obtención de la velocidad del agua a través de la relación la magnitud de la fuerza electromotriz

inducida, E, es proporcional a la densidad de flujo, (B), del campo magnético, multiplicado por la velocidad del agua, (v).

$$E \sim B.v$$

Para evitar turbulencias que provoquen errores en la medición, el medidor debe quedar colocado en un tramo de tubería recto, libre de piezas especiales, cambios de diámetro o de dirección, respetando la longitud mínima de siete veces el diámetro aguas arriba del medidor y cinco veces el diámetro aguas abajo, más la longitud del medidor, en caso de tener mayor disponibilidad de espacio es preferible tener 10 diámetros antes y cinco después del medidor.

#### 2.4.4 Medidor Ultrasónico

El principio básico de funcionamiento de un medidor ultrasónico es el siguiente: una señal sónica es transmitida diagonalmente a través del tubo por donde pasa el agua, la velocidad del líquido afecta el tiempo que esta señal emplea para ir de un transmisor hasta un receptor, disminuyendo este tiempo, cuando la señal y el flujo van en el mismo sentido; y aumentando cuando esto no ocurre

## 2.6 OBTENCION DEL BALANCE HIDRAULICO

El balance hidráulico se basa en la ecuación de continuidad que se expresa de la siguiente manera:

$$\text{VOLUMEN DE ENTRADA} = \text{VOLUMEN DISTRIBUIDO} + \text{PERDIDAS}$$

Y es el resultado del análisis de los términos que integran cada uno de los componentes de dicha ecuación para un determinado período de tiempo.

La ecuación del balance hidráulico para el sistema de abastecimiento de la figura 2.6.1 se encuentra integrada por los siguientes términos:

$V_1$  = Volúmen de extracción

$V_2$  = Volúmen conducido y de entrada a la planta de tratamiento

$V_3$  = Volúmen de salida planta de tratamiento y de alimentación al tanque elevado

$V_4$  = Volúmen de salida planta de tratamiento y de alimentación al tanque superficial

$V_5$  = Volumen de distribución a zona 1

$V_6$  = Volúmen de distribución a zona 2

Para obtener el balance hidráulico se establecen las siguientes ecuaciones:

$$V_1 = V_2 + \text{Pérdidas por conducción}$$

La diferencia entre  $V_1$  y  $V_2$  determina la existencia de fugas en la conducción.

$$V_2 = V_3 + V_4 + \text{Pérdidas}$$

La diferencia entre ambos términos de la ecuación define las pérdidas en el bombeo y en la planta de tratamiento, permitiendo identificar posibles en alguna o ambas de dichas unidades operacionales.

$$V_3 = V_5 + \text{Pérdidas}$$

$$V_4 = V_6 + \text{Pérdidas}$$

El análisis de estas ecuaciones determina la eficiencia de la regulación

$$V_5 = \text{Volúmen consumido por la población de zona 1} + \text{Pérdidas}$$

$$V_6 = \text{Volúmen consumido por la población de zona 2} + \text{Pérdidas}$$

El análisis de las últimas ecuaciones es muy importante, por la complejidad que representa el control y manejo del inmenso número y variedad de elementos que la integran. Permite conocer la eficiencia tanto de la red de distribución como del sistema de micromedición.

El volúmen consumido en una zona se determina mediante un sistema de medición para la obtención de datos relativos al consumo de los usuarios del sistema de agua potable. La red secundaria distribuye el agua a las diferentes tomas localizadas en la zona de control; que de acuerdo al tipo de servicio se han clasificado en:

Uso doméstico: Son las tomas de diámetros pequeños, generalmente de 13 y 19 mm de diámetro, de los predios destinados a vivienda exclusivamente.

Uso no doméstico: Los diámetros por lo general también son de 13 y 19 mm, dentro de esta clasificación se tienen las tomas de giros comerciales, de servicios y pequeñas industrias cuyos consumos son menores a  $400 \text{ m}^3$  / bimestre.

Uso mixto. En ocasiones existen predios donde se asientan una o varias viviendas y uno o varios locales comerciales que se alimentan de una sola toma.

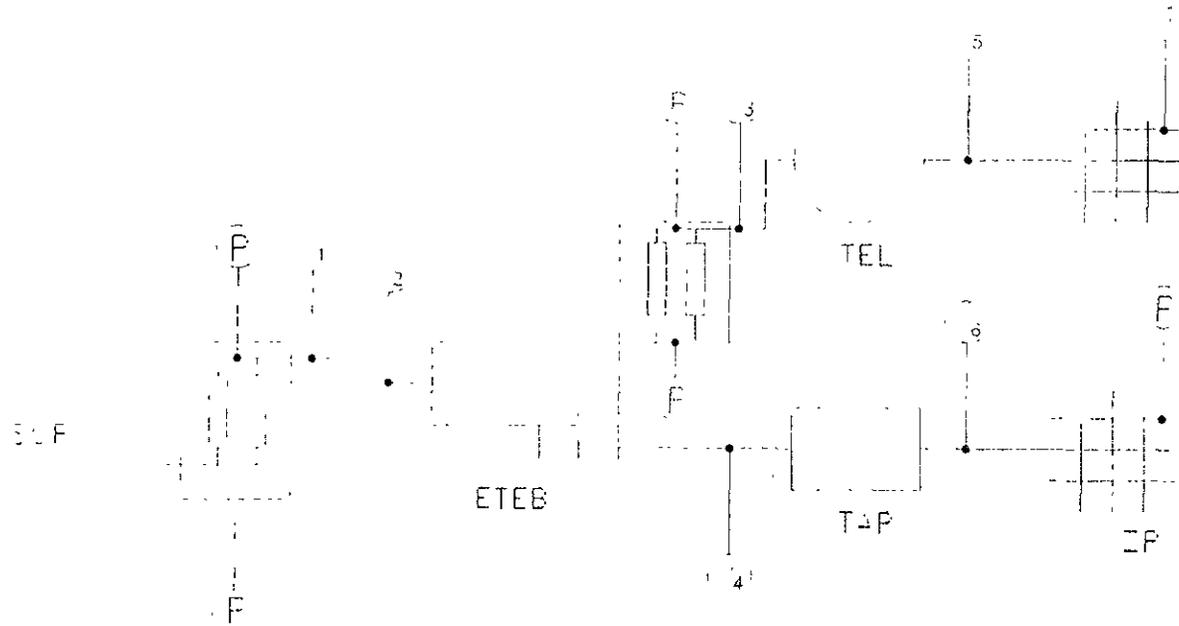


Fig. 2.8.1 Componentes de la ecuación del balance hidráulico

- SUP Curso superficial de almacenamiento de agua cruda
- EB Estación de bombeo
- ETA Estación de tratamiento
- TAP Tanque superficial
- ZP Zona de presión
- TEL Tanque elevado
- SUB Pozo profundo

### 3 SECTORIZACIÓN

#### 3.1 Definición en gabinete de la zona de sectorización

Un sector de medición es una parte de la red de distribución que puede independizarse desde el punto de vista hidráulico por medio de maniobras en las válvulas, con la finalidad de realizar estudios de distribución de consumos y de reducción de pérdidas. Debe determinarse de manera tal que se tenga un control total de los flujos que circulan dentro del mismo, esto es, que al efectuar un cierre total de las válvulas situadas en la periferia, se verifique que el flujo del agua y la presión en la red interna son independientes de la red exterior.

Una vez terminados los estudios de distribución de consumos y reducción de pérdidas en un sector, este puede reintegrarse a la zona de presión por la simple apertura de las válvulas que lo aíslan.

El propósito principal de la sectorización es reducir las pérdidas de agua por concepto de fugas visibles y no visibles, sin embargo como la aplicación de la técnica exige que se introduzcan una serie de mejoras en la red de distribución, contribuye significativamente a la eficiencia en la operación y mantenimiento de la misma.

Inicialmente se fijan los límites generales de la zona por controlar y, con base en la *información proporcionada por el catastro de la red y la planimetría de la ciudad*, se selecciona una porción de la red de distribución con una longitud ideal entre 20 y 50 Km, para posteriormente analizar las condiciones de los cruces y ubicar los sitios en los cuales se deben ejecutar diversas acciones para aislar la red de la zona de control de la red general de la ciudad.

Una vez definido el sector, se divide nuevamente en tramos de 500 a 2 000 m de manera que estos puedan aislarse entre sí, para ello si es necesario se agregan nuevas válvulas ya que, generalmente, cuando se elabora el proyecto de una red de distribución, no se prevén válvulas en cantidad y disposición adecuadas para aislar tramos de redes de corta longitud.

El sector debe establecerse de forma tal que cumpla, tanto como sea posible, los siguientes requisitos

- a) El sector debe tener el menor número posible de entradas y salidas y, siempre que sea posible, tendrá solamente una entrada y ninguna salida.

Se tiene un punto de salida cuando las condiciones de la red no nos permiten mantener completamente aislado un sector, es decir el punto de entrada no solo alimenta al sector en estudio y por lo tanto no es posible dejar de abastecer la red durante la medición.

- b) El diámetro de la tubería debe ser compatible con el consumo esperado del sector, es decir contar con la capacidad suficiente para alimentarlo durante el tiempo que dura la medición.
- c) Los límites del sector deben coincidir siempre que sea posible, con las líneas férreas, carreteras, grandes avenidas y ríos. Si esto no fuera posible, el sector debe poder aislarse de la red de distribución cerrando válvulas de paso. Las redes de distribución internas y externas al sector, deben tener buenas condiciones de presión aún en las horas de mayor consumo.
- d) El sector debe estar dentro de los límites de una sola zona de presión, y debe coincidir, si es posible, con la propia zona de presión. Entendiendo como zona de presión cada una de las partes en que la red de distribución se subdivide, previendo mantener presiones homogéneas y entre valores prefijados.

Para definir en gabinete el sector de medición se requiere un plano de la zona de medición a escala no mayor de 1:5000 conteniendo la siguiente información:

- 1 Representación de red primaria y secundaria
- 2 Ubicación de válvulas y piezas especiales
- 3 Ubicación de fuentes de abastecimiento

Para llevar un control de los tramos comprendidos en el sector a cada uno de ellos se le asigna una clave que incluye un número consecutivo, para posteriormente llenar un formato específico con los datos de cada tramo, recopilando del catastro de la red de distribución información referente a las tuberías de la red, cajas de válvulas, manómetros existentes, además de la información recopilada del área comercial, mostrando los consumidores domésticos, grandes usuarios, mega usuarios, edificios públicos, escuelas, parques, jardines, lotes baldíos con o sin tomas.

De igual manera se enumeran las válvulas a maniobrar con el propósito de tenerlas identificadas al momento de efectuar el cierre para la medición. La numeración puede establecerse en el orden en que se irán cerrando las válvulas de acuerdo al sentido de la circulación vehicular; o bien cuando se cuenta con el catastro de la red identificarlas con la clave de la estructura que se indica en el plano.

El plano del sector anexo corresponde a la ciudad de Guadalajara. Al analizar la red de distribución, revisar la ubicación de las válvulas y de la línea de alimentación se estableció un sector de 15.54 Km de longitud.



Para aislar dicho sector del resto de la red durante la medición y tener control del caudal que lo alimenta, se requiere cerrar las válvulas que en el plano se indican con los siguientes números:

Válvula No	Ubicación
1	Jose A Vigil - Aurelio L Gallardo
2	José A Vigil - Agustín de la Rosa
3	Jose A Vigil - Amado Nervo
4	José A Vigil - Ave Américas
19	Ave Americas - Ave Mexico
20	Amado Nervo - Ave Mexico
21	Agustín de la Rosa - Ave Mexico
22	Aurelio L Gallardo - Ave Mexico
23	Francisco Frejes - Ave Mexico
24	Luis Perez Verdia - Ave México
25	Luis Pérez Verdia - Ave Mexico
26	Carlos F Landeros - Ave Mexico
27	Fco I Rojas González - Ave México
28	Fray Luis de Palacio - Ave Mexico
29	Pablo Villaseñor - Ave México
30	Martín Casillas - Ave Mexico
31	Victoriano Salado - Ave México
32	A León - Ave México
33	Tomas V Gómez - Av Mexico
34	Reforma - Adolfo L Mateos
35	Garibaldi - Adolfo L Mateos
36	Garibaldi - Adolfo L Mateos
37	Angulo - Adolfo Lopez Mateos
38	Angulo - Adolfo López Mateos
39	Herrera y Cairo - Adolfo Lopez Mateos
40	Herrera y Cairo - Adolfo López Mateos
41	Martin Casillas - Manuel Acuña
42	Martín Casillas - Manuel Acuña
43	Hospital - Fray Luis de Palacio
44	Fco Zarco - Fco Rojas Gonzalez
45	Carlos F Landeros - A Lopez Mateos
46	Carlos F Landeros - Eulogio Parra

El sector se encuentra dividido a su vez en nueve subsectores o tramos y para aislarlos entre sí se requiere maniobrar las siguientes válvulas:

#### Subsector 8

Válvula No.	Ubicación
46	Jesús García - Agustín de la Rosa
47	Eulogio Parra - Aurelio L. Gallardo
48	Eulogio Parra - Aurelio L. Gallardo
49	Francisco Zarco - Aurelio L. Gallardo
50	Francisco Zarco - Aurelio L. Gallardo
51	Hospital - Agustín de la Rosa
52	Juan Alvarez - Agustín de la Rosa
53	Juan Alvarez - Amado Nervo

Longitud de red: 1.710 Km

#### Subsector 7

Válvula No	Ubicación
54	Juan Alvarez - Aurelio L. Gallardo
55	Juan Alvarez - Francisco Frejes
56	Juan Alvarez - Luis Perez Verdia
57	Francisco Zarco - Luis Perez Verdia
58	Eulogio Parra - Luis Perez Verdia
58A	Hospital - Luis Perez Verdia

Longitud del red: 1 800 Km

#### Subsector 5

Valvula No	Ubicación
59	Juan Alvarez - Amado Nervo
60	Juan Alvarez - Agustín de la Rosa
61	Manuel Acuña - Agustín de la Rosa
62	Herrera y Cairo - Agustín de la Rosa
63	Angulo - Agustín de la Rosa
64	Garibaldi - Agustín de la Rosa
65	Reforma - Agustín de la Rosa

Longitud de red 1 940 Km

#### Subsector 4

Válvula No	Ubicación
66	Juan Alvarez - Aurelio L. Gallardo
67	Juan Alvarez - Luis Perez Verdía
68	Manuel Acuña - Luis Perez Verdía
69	Herrera y Cairo - Luis Perez Verdía
70	Angulo - Luis Perez Verdía
71	Garibaldi - Luis Perez Verdía
72	Reforma - Luis Perez Verdía

Longitud de red: 2.590 Km

#### Subsector 1

Válvula No	Ubicación
73	Herrera y Cairo - Pablo Villaseñor
74	Angulo - Pablo Villaseñor
75	Garibaldi - Pablo Villaseñor
76	Reforma - Pablo Villaseñor

Longitud de red: 2.060 Km

#### Subsector 2

Válvula No	Ubicación
80	Manuel Acuña - Pablo Villaseñor
81	Herrera y Cairo - Pablo Villaseñor
82	Angulo - Pablo Villaseñor
83	Garibaldi - Pablo Villaseñor
84	Reforma - Pablo Villaseñor

Longitud de red: 0.530 Km

### Subsector 3

Válvula No.	Ubicación
77	Juan Alvarez - Carlos F. Landeros
78	Juan Alvarez - Francisco Rojas G.
79	Juan Alvarez - Fray Luis de Palacio
85	Reforma - Luis Perez Verdía
86	Garibaldi - Luis Perez Verdía
87	Angulo - Luis Perez Verdía
88	Herrera y Cairo - Luis Perez Verdía
89	Manuel Acuña - Luis Perez Verdía

Longitud de red: 2.410 Km

### Subsector 9

Válvula No	Ubicación
90	Juan Alvarez - Luis Perez Verdía

Longitud de red: 0.550 Km

### Subsector 6

Longitud de red: 1 950 Km

La subdivisión del sector se estableció en base a las válvulas existentes, por lo que solo fue necesaria la instalación de una válvula nueva.

### 3.2 Ubicación del punto de medición

Como sabemos un sistema de distribución esta formado por una red de tuberías y a su vez ésta se compone de tuberías de alimentación, principales y secundarias; esta designación depende de la magnitud de su diámetro y de su posición relativa con respecto a las demás tuberías.

*El punto de medición se localiza en la línea de alimentación propuesta para el sector en estudio, con la finalidad de medir el caudal de agua que entra al sector durante la medición.*

Puede ubicarse al inicio de la línea de alimentación o en un tramo posterior, siempre y cuando sea capaz de alimentar a todo el sector y la presión dentro de la zona de medición tienda a cero cuando se encuentre cerrada.

Se ubica al inicio de la línea de alimentación cuando el sector es la zona de influencia de un pozo o tanque, es entonces cuando se designa a la tubería como línea de alimentación por su posición y la medición se realiza directamente a la salida.

Cuando se aísla un sector de la red sin contar con una fuente de abastecimiento cercana se coloca el punto de medición en un tramo sobre la tubería de alimentación por lo que es importante que al delimitar el sector se ubique la tubería de mayor diámetro y por la cual entrara la mayor cantidad de agua.

En caso de que se cuente con más de una entrada de agua y que además se requiera para abastecer al sector puede colocarse mas de un punto de medición.

El punto de medición para el sector se encuentra sobre una tubería de 8" (200 mm) proveniente de un tanque de regularización de 10 000 m<sup>3</sup> de capacidad.

Las mediciones se realizan con una sonda electromagnética conectada a un lector que proporciona señales de salida a un registrador de datos.

El registrador guarda y procesa los datos con dos canales de entrada que son configurables como entradas analógicas o digitales

La programación y lectura de los diferentes aparatos se realiza con el programa FLUID, el cual controla todas las fases del proceso de recolección de datos, desde la programación hasta la obtención de histogramas y tablas

## **4 DESCRIPCIÓN DE LA SECUENCIA DE ACTIVIDADES**

### **4.1 Verificación en campo de la zona de Sectorización**

Después de definir un sector en gabinete es necesario validar la información en campo para lo cual se efectúa un recorrido por la zona en el que se verifica la información contenida en los planos y la existencia de las válvulas indicadas en los mismos, ya que con frecuencia no se actualizan los planos al modificar la red; al mismo tiempo se verifica el funcionamiento y estado de las válvulas inspeccionando cada una de las cajas.

La inspección consiste en abrir las cajas y realizar un croquis para cada una de las válvulas en el cual se contemplen las piezas especiales y todos los cruceos que las conforman, maniobrar las válvulas abriendo y cerrando con el propósito de asegurar que se encuentran en buenas condiciones de operatividad y detectar posibles problemas.

Al maniobrar las válvulas se elabora un formato en el cual se especifican el número de vueltas con las cuales se abre y cierra la válvula, ya que tanto al inspeccionar como en las actividades de sectorización las válvulas se dejan en las condiciones en que se encontraron.

Con la obtención de datos de este recorrido, se tendrá la información suficiente para hacer un informe en el cual se anoten las condiciones físicas y las fugas que se presenten en las válvulas, los accesorios o piezas especiales que contenga la caja y lo referente al estado en que se encuentran las tapas de las mismas, ya que son las más afectadas por el tránsito vehicular.

En este recorrido se ubican también los puntos para la instalación de nuevas válvulas y los puntos de medición para posteriormente construir las cajas.

Se verificarán también en campo los datos de la información recopilada del Área Comercial, como es la ubicación de los grandes usuarios y su tipo de toma, para planear las mediciones que se llevarán a cabo en etapas posteriores.

Para el sector descrito se inspeccionaron 157 válvulas, de dicha inspección se determinó la reparación o cambio de 43 válvulas y la instalación de una válvula nueva.

En la figura 4.1.1 se indican las válvulas que se requiere inspeccionar para aislar el subsector 5 del resto de la red.

En el anexo 4.1.1 se incluyen los croquis de cada cruceo inspeccionado.

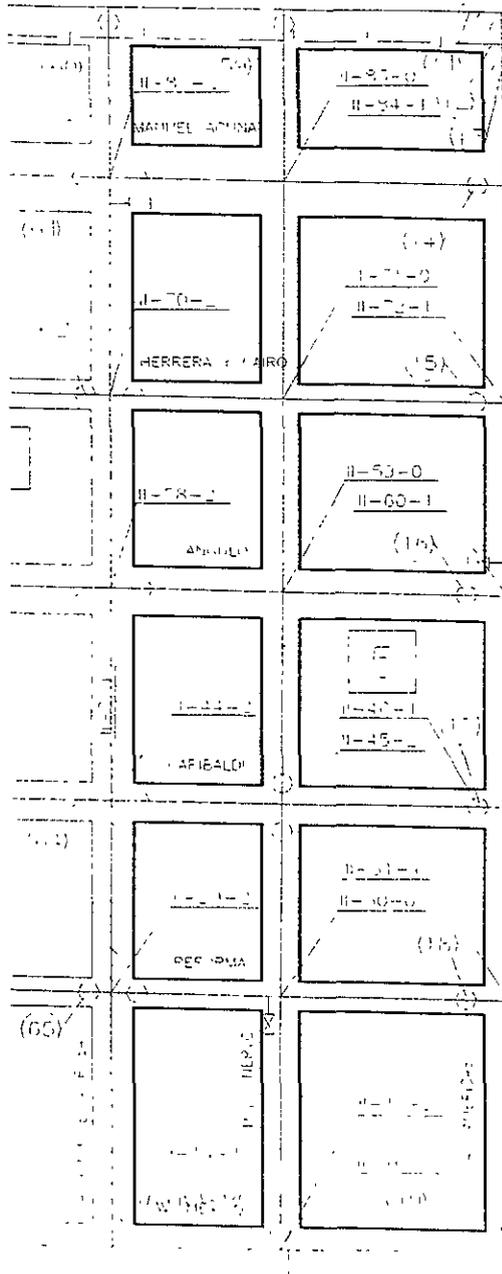


Fig. 411

## 4.2 Mantenimiento de cajas de válvulas

Para aislar la red en tramos de menor longitud es indispensable que todas las válvulas se encuentren en perfectas condiciones de operación, por lo tanto es importante que se reparen y sustituyan las válvulas que presenten problemas.

Los principales problemas constatables en una inspección de válvulas son:

- 1.- Las cajas de válvulas pueden estar cubiertas por pavimento asfáltico o cualquier otro tipo de revestimiento. Para su localización se requiere detector electrónico de cuerpos metálicos.
- 2.- Las cajas de válvulas pueden estar azoivadas, es decir obstruidas con lodo, piedras, o en algunos casos con escombros, fragmentos de madera, etc., en este caso solo requieren de limpieza.
- 3.- Puede existir fuga a través de la empaquetadura de la válvula, entonces la empaquetadura debe ajustarse, o cambiarse. si esto no surge efecto.
- 4.- Puede existir fuga por el asiento entre compuerta y cuerpo de la válvula.
5. El vástago de la válvula no tiene volante
6. El cabezal del vástago puede estar desgastado
7. El vástago puede estar roto o barrido

En los tres últimos casos es necesario sustituir la válvula

### 4.3 Instalación y cambio de válvulas

Como actividades previas a la sustitución de una válvula que no funciona deben considerarse las siguientes:

Primeramente se localizarán las válvulas que al maniobrase evitarán el paso del agua a la línea sobre la cual se encuentra ubicada la válvula a cambiar.

En las válvulas de desfogue que se encuentran en las cajas de válvulas cercanas se colocan manómetros con el propósito de controlar la presión que existe en la tubería cuando se efectúan los cierres.

Para poder desmontar la válvula es muy importante que la presión se encuentre por debajo de 200 gr., de no ser así al desmontar la válvula muy difícilmente se podrá controlar la salida de agua, se inundará la caja y será difícil realizar el cambio.

Cuando se tiene controlada la presión, mediante excavación se descubren las juntas y extremidades de la válvula, para retirar los tornillos de la junta Gibault y recorrer la junta y retirar los tornillos del otro extremo con facilidad.

Una vez retirados los tornillos de ambos extremos se puede desmontar la válvula. Estando fuera se desatornilla la extremidad y se ensambla a la válvula nueva.

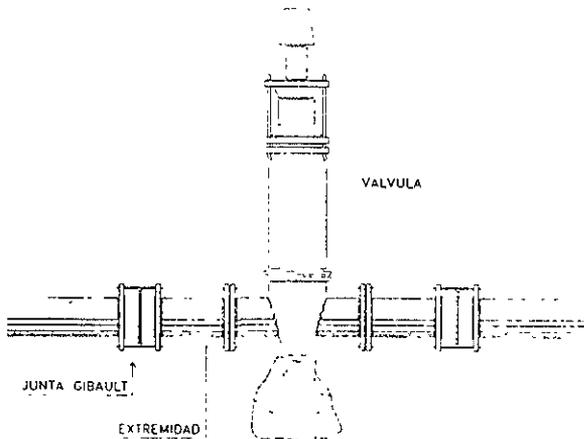


Fig. 4 3.1 Válvula de seccionamiento

#### **4.4 Identificación de tuberías dudosas**

Al recorrer la zona de trabajo para verificar el sector por lo regular surgen dudas sobre la existencia de interconexiones que no se contemplan en los planos de catastro. En este caso la localización de la tubería puede realizarse mediante aparatos detectores de tubería o bien, efectuando sondeos.

Así mismo es conveniente sondear para checar la ubicación física o inexistencia de piezas especiales de un crucero con respecto al punto de medición propuesto para garantizar que la ubicación propuesta cumple con las especificaciones de distancia mínimas a puntos que modifiquen las condiciones de flujo de agua que pudieran obligar a localizar otro punto para construir la caja.

#### **4.5 Elaboración de planos de los sectores**

*Una vez terminadas las diferentes verificaciones en el terreno, la reparación e instalación de nuevas válvulas, la construcción de puntos de medición y los límites de los tramos se elabora un plano a escala con toda la información referente a los límites y perímetro del sector, longitud de tramos, sitios de medición, cajas de válvulas, puntos de toma de presiones, longitud de red primaria, longitud de red secundaria, válvulas con número de orden, estructuras especiales, obras complementarias, sentido de flujo, número de usuarios, número de toma y toda la información necesaria para el buen entendimiento de la red de distribución.*

#### 4.6 Preparación de abrazaderas y válvula de inserción

Las mediciones de caudal y presión se realizan mediante una sonda electromagnética cuya inserción al centro de la tubería y fijación a la misma se realiza sin interrumpir la distribución de agua mediante una válvula de inserción integrada a un collarín o abrazadera del mismo diámetro de la tubería en que se va a instalar.

La instalación de la sonda se realiza mediante una perforación que deberá efectuarse preferentemente normal al eje de la tubería y en sentido vertical, ya que el tubo con frecuencia, no se encuentra completamente horizontal.

La perforación se realiza con una máquina perforadora e incersionadora, la cual fue diseñada para perforar sin suspender el servicio. Se sujeta la abrazadera al tubo mediante dos tornillos y una vez que se está seguro de que no hay movimiento del dispositivo (collarín + válvula) se abre la válvula y se procede a la perforación mediante el siguiente procedimiento:

Inicialmente se coloca la broca seccionada y se procede a acoplar la sección móvil a la sección fija, mediante la cruceta de acople.

Se Ajusta la cruceta para dar presión a la barra de perforación, hasta que se sienta que ésta ejerce presión sobre el tubo.

A partir del punto anterior se va accionando la matraca y la cruceta simultáneamente para dar presión, en el sentido de las manecillas del reloj para que la broca inicie la perforación del tubo, cuando se presente una pequeña fuga de agua en la válvula bay-pass, será la señal de que la perforación sobre la tubería ha sido terminada. Finalmente se procede a desmontar la máquina y a cerrar la válvula para dejarla en condiciones de ser utilizada.

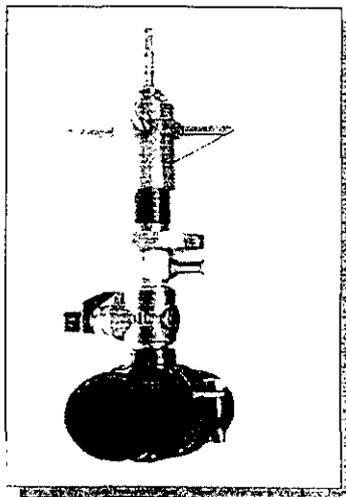


Fig. IV 6.1 Abrazadera y válvula de inserción

#### 4.7 Construcción de cajas

Después de seleccionar en gabinete el punto de medición, de realizar la cala para la localización de la tubería, perforar y colocar la abrazadera de inserción y una vez que se ha comprobado que la ubicación del punto es la correcta, se procede a construir la caja.

La caja se construirá de acuerdo a las especificaciones generales para la implantación, instalación y puesta en operación de medidores de flujo de agua potable de la Comisión de Aguas del Distrito Federal, con muros de 28 cm de espesor desplantados sobre una losa de concreto  $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$  de 10 cm de espesor, armadas con acero de refuerzo  $f_y=4,200 \text{ Kg/cm}^2$  del No. 3 a cada 30 cm, en ambas direcciones, apoyada a una plantilla de concreto simple  $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$  de 20 cm de espesor armada con acero de refuerzo  $f_y=4,200 \text{ kg/cm}^2$  del No. 3 a cada 30 cm, en ambas direcciones con doble emparillado.

El piso deberá tener una pendiente de 1% hacia un cárcamo para la extracción del agua interior.

Se debe colocar una tapa registrable del tipo pesado para agua potable y una escalera marina para poder acceder al interior de la caja cuando esta tenga una profundidad mayor a un metro.

El dimensionamiento de las cajas depende del diámetro de la tubería, como se indica a continuación:

DIAMETRO DE LA TUBERIA PULG/MM	DIMENSIONES INTERIORES (LARGO X ANCHO X PROF) (m)
4/102	1.00 x 0.90 x 1.30
6/152	1.00 x 0.95 x 1.35
8/203	1.00 x 1.00 x 1.40
10/254	1.00 x 1.05 x 1.45
12/305	1.00 x 1.10 x 1.50

#### **4.8 Verificación del cierre del sector**

Esta prueba se inicia mediante la maniobra de cierre de válvulas que conforman el perímetro del sector, salvo la válvula que se ubica sobre la tubería de alimentación del agua con la finalidad de conocer si la capacidad de la tubería es suficiente para abastecerlo, en caso contrario se modifican los límites del sector o se prevé otra alimentación del sector.

Una vez efectuada esta verificación se realiza el cierre de la o las entradas de agua previstas, tomándose las presiones en varios puntos internos y externos al sector por medio de manómetros que se colocan en tomas domiciliarias o en otros puntos de la red.

Si la presión interior del sector baja a cero y la presión exterior a este aumenta o se mantiene, se puede considerar que el aislamiento del sector es correcto y entonces se podrá construir la caja de medición en el lugar previsto para la entrada de agua al sector, que bien pudiera ser en varios puntos si se necesita.

Si la presión disminuye en algún tramo exterior al sector de la red, será preciso mover el límite del sector y se tendrán que incorporar o disminuir más calles o tramos dentro del sector, lo cual ocasionará cambiar los límites del sector. Esto con el propósito de que toda la red se encuentre abastecida correctamente durante el tiempo de realización de las mediciones.

Si la presión no bajara a cero dentro del sector, se tendrá que investigar la causa, ya que puede ser que una válvula este mal cerrada, la existencia de una válvula desconocida o de un by-pass no detectado procediendo a investigar su posición.

Para tener un control sobre el cierre de agua del sector, se elabora un formato en el cual se indican: la clave de la válvula, la maniobra de cierre y apertura (A para abrir, C para cerrar), la hora de la maniobra de cada válvula antes y después de haber efectuado el cierre. Al final de estas actividades se dejarán las válvulas en su posición inicial.

#### 4.9 Realización del Step

Cuando se ha verificado el cierre del sector, construido la caja de medición e instalado los instrumentos de medición, se realiza el step o subdivisión nocturna.

La subdivisión nocturna se ejecuta durante el período en que ocurre el consumo mínimo. o sea, normalmente entre media noche y las 5:00 hrs. de la mañana. Con esto se garantiza que no ocurran variaciones sensibles de consumo en las instalaciones prediales durante el período de medición, haciendo posible realizar comparaciones entre los consumos de los diferentes segmentos.

Para realizar las mediciones se cierran todas las válvulas limítrofes del sector, con excepción de la o las entradas de agua, y se mide el caudal que entra al sector durante un tiempo de 30 min.

Esta medición se hace para el caudal y la presión que se tiene en la estación medidora. registrados la hora de inicio y la hora final de la medición.

Al haber concluido la medición de todo el sector. se procede a cerrar las válvulas que limitan al tramo de tubería más lejano al punto de medición dentro del sector. para realizar la medición correspondiente a todo el sector menos un tramo, y se vuelve a tener la medición de caudal y presión durante 20 min para todo el conjunto de tuberías que representan el sector menos un tramo de tubería. de igual manera que la anterior se registran las horas de inicio y término de esta actividad.

De la misma forma que lo anterior se vuelven a cerrar las válvulas que aislen otro tramo de tuberías. procediendo a hacer las mediciones de caudal y presión para el sector menos dos tramos de tubería que se restaron del sector inicial. durante un tiempo de 20 min.

De la misma manera se sigue trabajando hasta alcanzar el último tramo de tubería y el más cercano al punto de medición.

El instante de cierre de todas las válvulas debe anotarse en el formato. esto nos permitirá al realizar el análisis del histograma de caudal determinar los efectos de cada cierre de válvula en la red de distribución interna y externa al sector

Para restablecer el servicio se procederá a abrir todas las válvulas que se encuentran dentro del sector para restablecer el flujo normal. Esta apertura de válvulas deberá hacerse con la cantidad de vueltas en el volante que se tenía en un principio, con la finalidad de poder garantizar que el sector trabaje hidráulicamente de la misma forma en que lo hacía antes de hacer las mediciones y cierres de válvulas.

Además de la medición nocturna, siempre se dejará el medidor funcionando unas 24 hrs. a fin de conocer el consumo tanto diurno como nocturno.

Al efectuar las mediciones se obtendrán los siguientes datos:

- Número de orden de cierres de tramo o grupo de tramos
- Número de orden de válvula que se maniobra
- Maniobra de válvula
- Hora en que se ejecuta la maniobra
- Caudal registrado

Estos datos se vacían en el formato siguiente, denominado Step.

MEDICIONES Y DETECCION DE FUGAS

FECHA 20-21 NOVIEMBRE 1997

FLUJO BASE 06 LPS/KM

STEP NO	VALVULA NO	DESCRIPCION	MANIOBRA DE VALVULA	HORA	TERMINADO STEP		LONGITUD TRAMO METROS	FLUJO REFERENCIA US	FLUJO NOCHE US			PERDIDA US	OBSERVACIONES
					HORA	MANIOBRA VALVULA			REGISTRADO	STEP	CONSUMOS EXCEPC		
8	46	CERRADA		22 11			1710	1 03					
	47	CERRADA		22 13									
	48	CERRAR	6 ½	22 15	3 45	6 ½							
	49	CERRAR	3 ½	22 18	3 48	3 ½							
	50	CERRAR	8	22 19	3 50	8							
	51	CERRADA		22 22									
7	52	CERRAR	8 ½	22 25	3 55	8 ½							
	53	CERRADA		22 28									
	54	CERRADA		22 53			1800	1 08					
5	55	CERRADA		22 55									
	56	CERRADA		22 56									
	57	CERRAR	4 ½	23 01	3 58	4 ½							
	58	CERRADA		23 02									
	58A	CERRADA		22 59									
	59	CERRADA		23 22			1940	1 16					
4	60	CERRAR	2	23 24	4 00	2							
	61	CERRADA		23 34									
	62	CERRADA		23 32									
	63	CERRAR	1 ½	23 30	4 05	1 ½							
	64	CERRAR	10	23 28	4 08	10							
	65	CERRAR	6 ½	23 25	4 10	6 ½							
	66	CERRAR	1 ½	23 53	2 57	1 ½	2590	1 55					
1	67	CERRAR	9	23 57	3 00	9							
	68	CERRADA		23 56									
	69	CERRADA		23 58									
	70	CERRADA		0 01									
	71	CERRADA		0 03									
	72	CERRAR	8 ½	0 05	3 03	8 ½							
	73	CERRAR	15 ½	0 35	3 14	15 ½	2050	1 24					
2	74	CERRADA		0 33									
	75	CERRAR	9	0 32	3 08	9							
	76	CERRADA		0 29									
	80	CERRADA		1 04			530	0 32					
	81	CERRADA		1 02									
3	82	CERRAR	14 ½	1 00	3 12	14 ½							
	83	CERRAR	14 ½	0 58	3 09	14 ½							
	84	CERRADA		0 57									
	77	CERRAR	15 ½	1 37	3 18	15 ½	2410	1 45					
	78	CERRAR	14 ½	1 40	3 20	14 ½							
	79	CERRAR	17 ½	1 42	3 22	17 ½							
	85	CERRADA		1 27									
	86	CERRAR	1 ½	1 29	3 28	1 ½							
	87	CERRADA		1 31									
9	88	CERRADA		1 33									
	89	CERRAR	3 ½	1 35	3 35	3 ½							
	90	CERRAR	3 ½	2 05	3 40	3 ½	550	0 33					
6				2 41		1950	1 17						

57

#### 4.10 Interpretación de datos

El consumo promedio nocturno puede indicar la intensidad de las fugas en un sector debido a que en un área residencial bien abastecida, normalmente, los consumos horarios entre las 0:00 y 5:00 hrs., son mínimos y constantes por la baja demanda de los usuarios.

Cuando el abastecimiento del sector no es continuo es probable que el consumo promedio nocturno sea irregular y los caudales registrados correspondan al llenado de tinacos y cisternas.

Si existen grandes consumidores en el área estudiada es necesario medir el caudal durante períodos cortos, en las horas de consumo mínimo nocturno para obtener un consumo promedio nocturno de los grandes consumidores.

El análisis de pérdidas por fugas en el sector se realiza en el formato Step, a partir de la información recopilada durante la medición.

Dicha información se obtiene a partir de los datos del Anexo 4.10.1 proporcionados por el programa FLUID.

Los datos para cada columna se obtienen de la siguiente manera:

FLUJO DE REFERENCIA: Producto del flujo base por la longitud del tramo en Km.

El flujo base tiene un valor de 0.6 LPS/Km que se determinó en base a la experiencia considerando los siguientes aspectos:

- a) Pérdidas de agua en juntas en tramos de tubería debido a los empaques de los tramos que pudiesen estar cristalizados.
- b) Pérdidas de agua debido a los cambios de temperatura que se tiene entre la tubería y el suelo (condensación).
- c) Fugas a nivel micro en las conexiones domiciliarias sobre todo en la abrazadera de inserción, para el ramal correspondiente.
- d) Fugas en las conexiones de los ramales domiciliarios.
- e) Pequeñas fugas en las válvulas de destóque.
- f) Fugas en válvulas de admisión y expulsión de aire
- g) Fugas en accesorios en los cambios de dirección (piezas especiales de Fo Fo como cruz, tees, codos)
- h) Fugas en los empaques de las piezas especiales (de Fo Fo o de PVC)

i) Fugas en el interior de domicilios, después del medidor.

FLUJO REGISTRADO: Se obtiene directamente del programa FLUID, a partir de los horarios de cierre para cada subsector.

Del formato realizado en campo se obtienen los horarios en lapsos de 30 min para el sector y 20 min para cada subsector y de los datos del FLUID los consumos para cada uno de los horarios.

#### Sector

Inicio de la medición	21:20 Hrs.
Inicio del cierre de subsector	22:11 Hrs.
Período de medición	21:40 – 22:10 Hrs.
Consumo Promedio Mínimo	16.82 L/S

#### Subsector 8

Terminación del cierre	22:28 Hrs.
Inicio del cierre siguiente	22:53 Hrs.
Periodo de medición	22:30 – 22:50 Hrs.
Consumo Promedio Mínimo	16.59 L/S

#### Subsector 7

Terminación del cierre	23:00 Hrs.
Inicio del cierre siguiente	23:22 Hrs.
Período de medición	23:01 – 23:21 Hrs.
Consumo Promedio Nocturno	16.54 L/S

#### Subsector 5

Terminación del cierre	23.31 Hrs
Inicio del cierre siguiente	23 53 Hrs.
Período de medición	23:32 – 23:52 Hrs.
Consumo Promedio	16.42 L/S

#### Subsector 4

Terminación del cierre	00:05 Hrs
Inicio del cierre siguiente	00 29 Hrs
Período de medición	00 06 – 00 27 Hrs
Consumo Promedio nocturno	15 14 L/S

### Subsector 1

Terminación del cierre	00:35 Hrs.
Inicio del cierre siguiente	00:57 Hrs.
Período de medición	00:36 – 00:56 Hrs.
Consumo Promedio Nocturno	14.85 L/S

### Subsector 2

Terminación del cierre	01:04 Hrs.
Inicio del cierre siguiente	01:27 Hrs.
Período de medición	01:05 – 01:26 Hrs.
Consumo Promedio Nocturno	14.09 L/S

### Subsector 9

Terminación del cierre	01:42 Hrs.
Inicio del cierre siguiente	02:05 Hrs.
Período de medición	01:44 – 02:04 Hrs.
Consumo Promedio Nocturno	7.06 L/S

### Subsector 6

Inicio del cierre siguiente	02:05 Hrs.
Período de medición	02:06 – 02:26 Hrs.
Consumo Promedio Nocturno	6.90 L/S

El anexo 4.10.1 corresponde a los datos extraídos del fluid

STEP A partir de la medición del último flujo registrado, y del cual conocemos el caudal; los caudales para cada subsector se obtienen por diferencia entre el flujo registrado antes y después del cierre correspondiente.

Caudal subsector 6	6.86 L/S
Caudal subsector 9	6.9 - 6.86 = 0.04 L/S
Caudal subsector 2	14.09 - 6.9 - 7.09 L/S

CONSUMOS EXCEPCIONALES: Consumos de grandes consumidores en el tramo correspondiente, durante la noche.

PERDIDAS. Consumo registrado STEP - flujo de referencia – consumos excepcionales.

Pérdidas sector 6  $6.86 - 1.17=5.69$

Pérdidas sector 9:  $0.04 - 0.33=0$

Las perdidas representan el agua que se tiene que recuperar por medio de la detección de fugas y tomas clandestinas.

MEDICIONES Y DETECCION DE FUGAS

FECHA 20-21 NOVIEMBRE 1997

FLUJO BASE 0.6 LPS/KM

STEP NO	VALVULA NO	DESCRIPCION	MANIOBRA DE VALVULA	HORA	TERMINADO STEP		LONGITUD TRAMO METROS	FLUJO REFERENCIA L/S	FLUJO NOCHE L/S			PERDIDA L/S	OBSERVACIONES
					HORA	MANIOBRA VALVULA			REGISTRADO	STEP	CONSUMOS EXCEPC		
6	46	CERRADA		22 11			1710	1.03	16.8	0.21	0	0	
	47	CERRADA		22 13									
	48	CERRAR	6 1/2	22 15	3.45	6 1/2							
	49	CERRAR	3 1/2	22 18	3.48	3 1/2							
	50	CERRAR	8	22 19	3.50	8							
	51	CERRADA		22 22									
	52	CERRAR	8 1/2	22 25	3.55	8 1/2							
	53	CERRADA		22 28									
7	54	CERRADA		22 53			1800	1.08	16.99	0.05	0	0	
	55	CERRADA		22 55									
	56	CERRADA		22 56									
	57	CERRAR	4 1/2	23 01	3.58	4 1/2							
	58	CERRADA		23 02									
	58A	CERRADA		22 59									
5	59	CERRADA		23 22			1940	1.16	16.54	0.12	0	0	
	60	CERRAR	2	23 24	4.00	2							
	61	CERRADA		23 34									
	62	CERRADA		23 32									
	63	CERRAR	1 1/2	23 30	4.05	1 1/2							
	64	CERRAR	10	23 28	4.08	10							
	65	CERRAR	6 1/2	23 25	4.10	6 1/2							
4	66	CERRAR	1 1/2	23 53	2.57	1 1/2	2590	1.55	16.42	1.32	0	0	
	67	CERRAR	9	23 57	3.00	9							
	68	CERRADA		23 56									
	69	CERRADA		23 58									
	70	CERRADA		0.01									
	71	CERRADA		0.03									
	72	CERRAR	8 1/2	0.05	3.03	8 1/2							
1	73	CERRAR	15 1/2	0.35	3.14	15 1/2	2060	1.24	15.1	0.25	0	0	
	74	CERRADA		0.33									
	75	CERRAR	9	0.32	3.08	9							
	76	CERRADA		0.29									
2	80	CERRADA		1.04			530	0.32	14.85	0.76	0	0.44	
	81	CERRADA		1.02									
	82	CERRAR	14 1/2	1.00	3.12	14 1/2							
	83	CERRAR	14 1/2	0.58	3.09	14 1/2							
	84	CERRADA		0.57									
3	77	CERRAR	15 1/2	1.37	3.18	15 1/2	2410	1.45	14.09	7.19	0	5.74	
	78	CERRAR	14 1/2	1.40	3.20	14 1/2							
	79	CERRAR	17 1/2	1.42	3.22	17 1/2							
	85	CERRADA		1.27									
	86	CERRAR	1 1/2	1.29	3.28	1 1/2							
	87	CERRADA		1.31									
	88	CERRADA		1.33									
	89	CERRAR	3 1/2	1.35	3.35	3 1/2							
9	90	CERRAR	3 1/2	2.05	3.40	3 1/2	550	0.33	6.9	0.04	0	0	
6					2.41		1950	1.17	6.86	6.86	0	5.69	

#### 4.11 Detección de fugas

La realización de un Step nos permite identificar los tramos de la red con mayor pérdida de agua por fugas ocultas y aumentar las presiones en la red para posteriormente mediante equipos electrónicos realizar la detección.

Es sumamente importante considerar que las presiones altas facilitan la localización, puesto que al salir el agua con mayor velocidad se produce un sonido que se propaga con más intensidad. Una fuga pequeña (orificio o grieta), tiene un sonido agudo de alta frecuencia y una fuga grande (tubería rota o junta defectuosa), un sonido grave de poca intensidad y baja frecuencia.

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

- a) Realizar un reconocimiento general de la red de distribución, ubicando el lugar exacto de tuberías y accesorios, así como tomar la presión en puntos correspondientes a cada sector para asegurar que las presiones existentes sean mayores a  $1.5 \text{ Kg/cm}^2$
- b) Seleccionar los puntos de contacto más convenientes, para ubicar las fugas en longitudes cortas (20.0 a 40.0 m)
- c) Caminar a lo largo de la tubería colocando el aparato aproximadamente a cada metro sobre el pavimento
- d) Localizar las fugas indicando un área máxima de  $1.0 \times 1.0$

Para que el operador de un equipo de detección directa pueda determinar con exactitud la existencia de una fuga, se requiere de mucha práctica, puesto que interfieren una serie de factores que a continuación se describen:

##### a) Tipo de carpeta

Se debe tener cuidado en las operaciones de localización de fugas y en el equipo utilizado, bajo diferentes condiciones de la superficie de pavimento, donde se realiza la inspección. Los factores a considerar son:

Carpeta pavimentada

Es una de las que brinda mejores condiciones en la localización de fugas, la superficie es lisa y compacta, el micrófono de piso asienta totalmente sobre la superficie de la carpeta, estas ventajas ayudan a captar el sonido de la fuga con mayor exactitud.

Carpeta asfaltada:

Esta superficie no es tan confiable porque la distribución de las partículas del asfalto dejan huecos, es decir quedan partes porosas, donde llega a formarse pequeñas bolsas de aire, además es un material que sufre deformaciones por temperatura de calor o frío, por lo que las detecciones son más complicadas, por la confusión de sonidos diferentes al de la fuga que se perciben.

Carpeta de terracería, con hierba o pasto:

Es una superficie crítica, tiene las desventajas de la carpeta tipo terracería, el terreno presenta diferentes tamaños de hierba y pasto, lo que no permite asentar bien el micrófono de piso.

b) Tipo de terreno

Dependiendo del tipo del suelo del lugar en donde se presenta una fuga, se tiene diferente calidad de la resonancia del ruido que genera la misma, es importante considerar:

Terreno duro:

Es una arena compacta y en un terreno rocoso, se transmite mejor el sonido. Debido a que existe un mínimo de porosidad por lo que el sonido de fugas no se altera, ya que el detector lo capta directamente, además no se forman bolsas de aire que interfieren el sonido.

Terreno fangoso:

De migajón (barro) o donde existe material tipo boleto, no tiene buena resonancia. En el caso de migajón, el terreno es agrietado por la temperatura, es expansivo, en estas condiciones el aire penetra por todas las partes agrietadas y al momento de la localización con el micrófono de piso, se mezcla el ruido del aire que está entrando con el de la fuga dificultando su identificación.

Terreno con material tipo boleto:

Existe el mayor porcentaje de bolsas de aire o respiraderos, estas se generan por el mal acomodamiento de las rocas internas o material, ya que entre ellas existen grandes huecos, que en algunos casos llegan a tener salida a la superficie ó al nivel friático. es un terreno donde pueden localizarse grandes resumideros, el terreno no es totalmente compacto. por que la tierra es fina y suelta.

c) Tipo de material de la tubería

En las tuberías metálicas se tiene mejor transmisión del sonido, en tuberías de PVC y A-C. el sonido es completamente apagado. Cualquier sonido en el interior o exterior de una tubería, tiende a ser siempre agudo, siendo favorable para el detector de piso.

Los materiales que no son buenos conductores del sonido agudo son: plástico, asbesto-cemento y concreto. La localización de fugas en estos tipos de tubería se hacen a distancias más cortas.

d) Tipo de fuga

Una fuga pequeña (grieta u orificio) presenta un sonido agudo de alta frecuencia; un tubo roto, provoca un sonido grave de poca intensidad y baja frecuencia. El primer caso se debe a que el agua aumenta su velocidad en la falla o porque el agua golpea el suelo. En el segundo caso, debido a que la rotura abarca todo el diámetro de la tubería, el agua sale a tubo lleno sin aumentar dicha velocidad.

e) Ruidos subterráneos de accesorios o piezas especiales

Generalmente la fuga se localiza donde el sonido es más intenso, pero bajo algunas condiciones esta afirmación cambia por ejemplo: cambios de dirección del tubo, tubería doblada, codos, té, reducciones, etc., estas condiciones amplifican el sonido y esto puede confundirse con una fuga.

f) Profundidad de la tubería

El espesor de la capa de terreno que cubre la tubería hace variar la intensidad del sonido, por lo que se recomienda contar con los planos actualizados de toda la red, soportes, etc., para identificar estas condiciones y se pueda precisar más rápidamente el sitio de fuga.

Cualquier equipo detector que se adquiriera, es necesario saber las condiciones de trabajo en las que se puede utilizar, analizar sus ventajas y desventajas, ver si se adapta a la zona de estudio del lugar considerando los factores que influyen en la eficiencia del equipo.

Para los equipos mecánicos y electrónicos de detección directa se recomienda que el operador haga ejercicios con los micrófonos de piso para familiarizarse con los sonidos, y pueda distinguirlos de los de fugas.

Escuchar personas caminando

Probar con distintos tipos de carpetas: pavimentadas, asfalto, terracerías con yerba o pasto.

Abrir y cerrar las llaves vecinas del lugar en inspección

Hacer excavaciones

Trabajar con tuberías de: acero, asbesto cemento, PVC y polietileno de alta densidad con diferentes diámetros.

Se recomienda conocer las condiciones en que se encuentran los conductos y su profundidad, antes de hacer la localización de una fuga.

Se deben conocer los tramos de tubería recién instalados debido a que las zanjas recientemente rellenas, son malos conductores del sonido.



#### 4.12 Step de control y Programa de mantenimiento

Una vez que se han reparado las fugas detectadas en todo el sector, es necesario realizar un segundo Step. Si al analizarlo, el flujo registrado o caudal mínimo nocturno es inferior al flujo base, los trabajos de dicho sector se consideran terminados. En caso contrario, una nueva detección de fugas es necesaria.

Si los trabajos en el sector se han terminado, se establece un plan de trabajo a partir de la información obtenida durante las operaciones de sectorización (cantidad de fugas por tramo, calidad de los materiales encontrados durante las reparaciones, antigüedad de las tuberías, tipo y calidad de terrenos, etc.).

Se realizan mediciones periódicas en ciertos puntos del sector y subsectores, determinados en función de los elementos citados anteriormente.

Los resultados obtenidos se comparan con los flujos base, si la diferencia es mayor a este último, se busca la causa.

Inicialmente, se verifica si se instalaron nuevas tomas o si hubo un aumento de consumos, dato que se obtiene a partir de la información proporcionada por el área comercial. Si este no es el caso, se inicia un nuevo step en el sector para averiguar en que tramo el incremento es anormal, para realizar la detección de fugas o tomas clandestinas.

Dentro del programa de trabajo, se incluye la operación periódica de válvulas, como mantenimiento preventivo, esta operación, además de garantizar mayor seguridad de que en una maniobra real funcionará adecuadamente, ayuda a remover los materiales depositados en el asiento y en la guía de la compuerta.

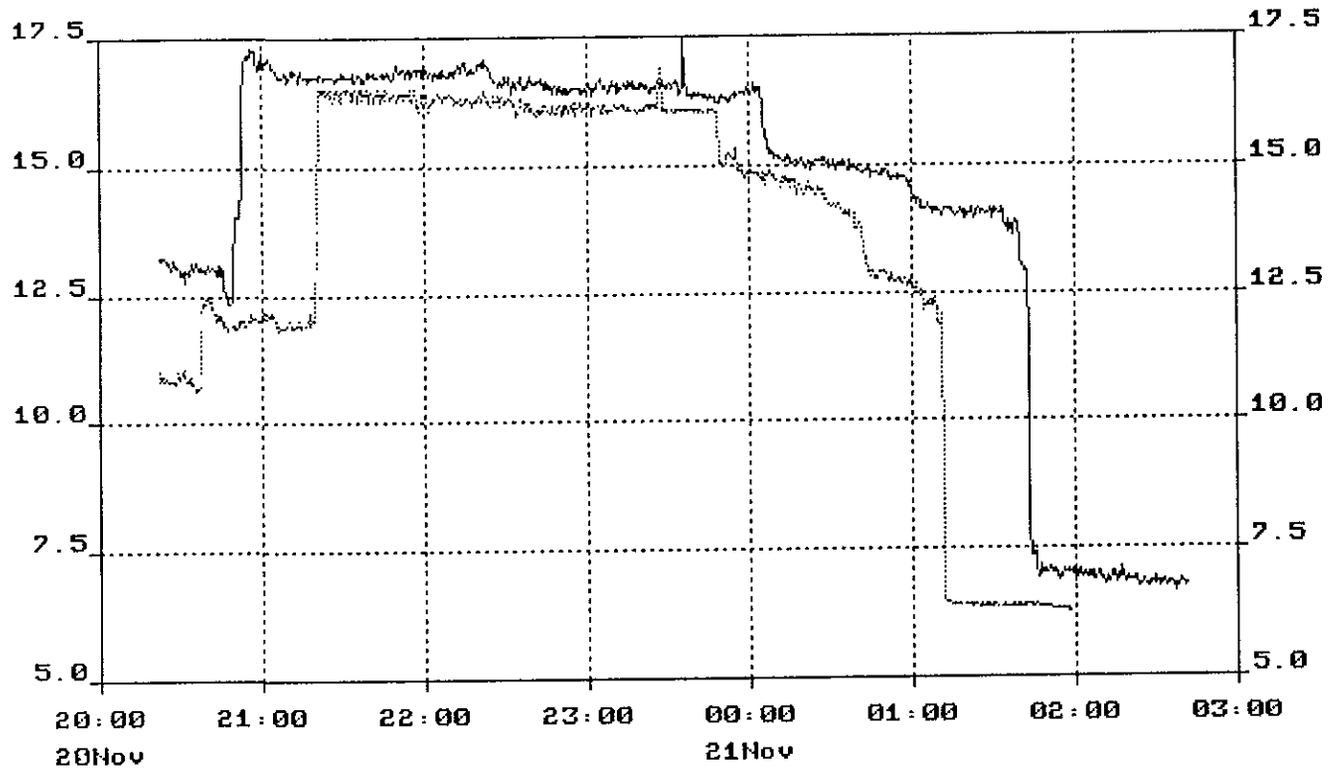
En el segundo step realizado al sector analizado, las pérdidas registradas son menores a las del primero, como puede observarse en el histograma o al comparar la columna correspondiente del formato.

STEP NO	VALVULA NO	DESCRIPCION	MANIOBRA DE VALVULA	HORA	TERMINADO STEP		LONGITUD TRAMO METROS	FLUJO REFERENCIA L/S	FLUJO NOCHE L/S		PERDIDA L/S	OBSERVACIONES	
					HORA	MANIOBRA VALVULA			REGISTRADO	STEP CONSUMOS EXCEPC			
8	46	CERRADA		22 45			1710	1 03	16 33	0 16	0	0	
	47	CERRADA		22 40									
	48	CERRAR	7	22 42	2 43	7							
	49	CERRAR	7 1/2	22 39	2 41	7 1/2							
	50	CERRAR	5	22 37	2 42	5							
	51	CERRADA		22 35									
	52	CERRAR	12	22 34	2 48	12							
	53	CERRADA		22 32									
7	54	CERRADA		23 08			1800	1 08	16 17	0 06	0	0	
	55	CERRADA											Vástago roto
	55	CERRADA		23 07									
	57	CERRAR	11	23 08	2 38	11							
	58	CERRADA		23 09									
	58A	CERRADA		23 07									
5	59	CERRADA		23 36			1940	1 16	16 11	0 04	0	0	
	50	CERRAR	8	23 34	2 48	8							
	61	CERRADA		23 32									
	62	CERRADA		23 33									
	63	CERRAR	8	23 30	3 07	8							
	64	CERRADA		23 30									
	65	CERRAR	10 1/2	23 31	3 05	10 1/2							
4	65	CERRADA		23 57			2590	1 55	16 07	1 16	0	1 45	
	67	CERRAR	6	23 57	2 51	6							
	68	CERRAR	15	23 58	3 00	15							
	69	CERRADA		23 58									
	70	CERRADA		23 59									
	71	CERRADA		0 00									
	72	CERRAR	6	0 00	3 02	6							
1	73	CERRAR	16	0 23		CERRADA	2060	1 24	14 91	0 47	0	0	
	74	CERRAR	18	0 23		CERRADA							
	75	CERRADA		0 21									
	76	CERRADA		0 21									
2	80	CERRAR	18	0 51	3 19	18	530	0 32	14 44	1 66	0	1 34	
	81	CERRADA		0 48									
	82	CERRAR	17	0 48	3 16	17							
	83	CERRAR	14	0 45	3 14	14							
	84	CERRADA	11	0 46	3 12	11							
3	77	CERRAR	17	1 16	2 54	17	2410	1 45	12 78	6 33	0	4 88	
	78	CERRAR	16	1 18	2 56	16							
	79	CERRAR	16	1 20	2 58	16							
	85	CERRAR	8	1 12	3 03	8							
	85	CERRADA		1 12									
	87	CERRADA		1 14									
	88	CERRADA		1 15									
	89	CERRAR		1 15									
9	90	CERRAR	5	1 45	2 52	5	550	0 33	6 45	0 09	0	0	
6					2 41		1950	1 17	6 36	6 36	0	5 19	

— STEP DE MEDICION (NOVIEMBRE 1997)

····· STEP DE CONTROL (ENERO 1998)

Caudal (l/s)



## CONCLUSIONES

Tanto la macromedición como la sectorización en un sistema de abastecimiento de agua potable proporcionan valiosa información para el control de pérdidas en los sistemas de producción y distribución de abastecimiento de agua potable.

La sectorización permite determinar tanto los caudales entregados a un sector de 20 Km de longitud, como los tramos dentro del mismo con mayor índice de fugas, dicho sector es aislado del resto de la red mediante la maniobra de válvulas.

Al efectuar los trabajos de sectorización se implementan una serie de mejoras a la red:

Es necesario operar todas las válvulas y en consecuencia al final de la investigación del sector se encuentran en perfectas condiciones de funcionamiento.

Se mejora la confiabilidad del catastro de la red de distribución ya que se identifican interconexiones, válvulas y accesorios de la red, no catastrados.

La utilización permanente de los planos obliga a cuidar mejor el sistema de catastro.

La aplicación exige la eliminación de puntos muertos, el refuerzo de la red secundaria y la complementación de las redes primarias, lo que trae como consecuencia una mejor circulación del agua, menor pérdida de carga, mejor distribución de presiones y mayor flexibilidad en la operación de la red de distribución.

La determinación de los tramos con mayor índice de fugas se realiza mediante el análisis de mediciones de consumo nocturno, las cuales se realizan a través de equipos de medición de caudales.

En el mercado existen una gran variedad de medidores, por lo que es necesario analizar factores como condiciones del lugar de instalación, condiciones hidráulicas del flujo de agua, características físicas y calidad del agua, para determinar el tipo y capacidad necesarios para cada caso.

En la macromedición las mediciones se realizan permanentemente, mientras que en la sectorización se realizan durante un periodo de tiempo designado para el estudio de un sector

La macromedición a diferencia de la sectorización no tiene límite en cuanto a la longitud de red y tiene como objetivo cuantificar los caudales producidos y entregados en un sistema de abastecimiento. La información proporcionada por los equipos es fundamental para la programación y ejecución de la operación de los sistemas de abastecimiento de agua.

Dependiendo de las condiciones de los sistemas de abastecimiento y de la información, ambos pueden complementarse.

Con la macromedición se conocen los volúmenes entregados a una zona de presión. La distribución del agua dentro de la zona se determina mediante la sectorización.

## **BIBLIOGRAFIA**

Control de Fugas en Sistemas de Distribución  
Comisión Nacional del Agua  
México, D.F., 1994

Macromedición  
Manual DTIAPA No. C-9  
Lima, Perú. Febrero 1985

Control de Fugas en los Sistemas de Distribución de Agua Potable  
Manual DTIAPA No. C-7  
2ª. Edición  
Lima, Perú. Julio 1985

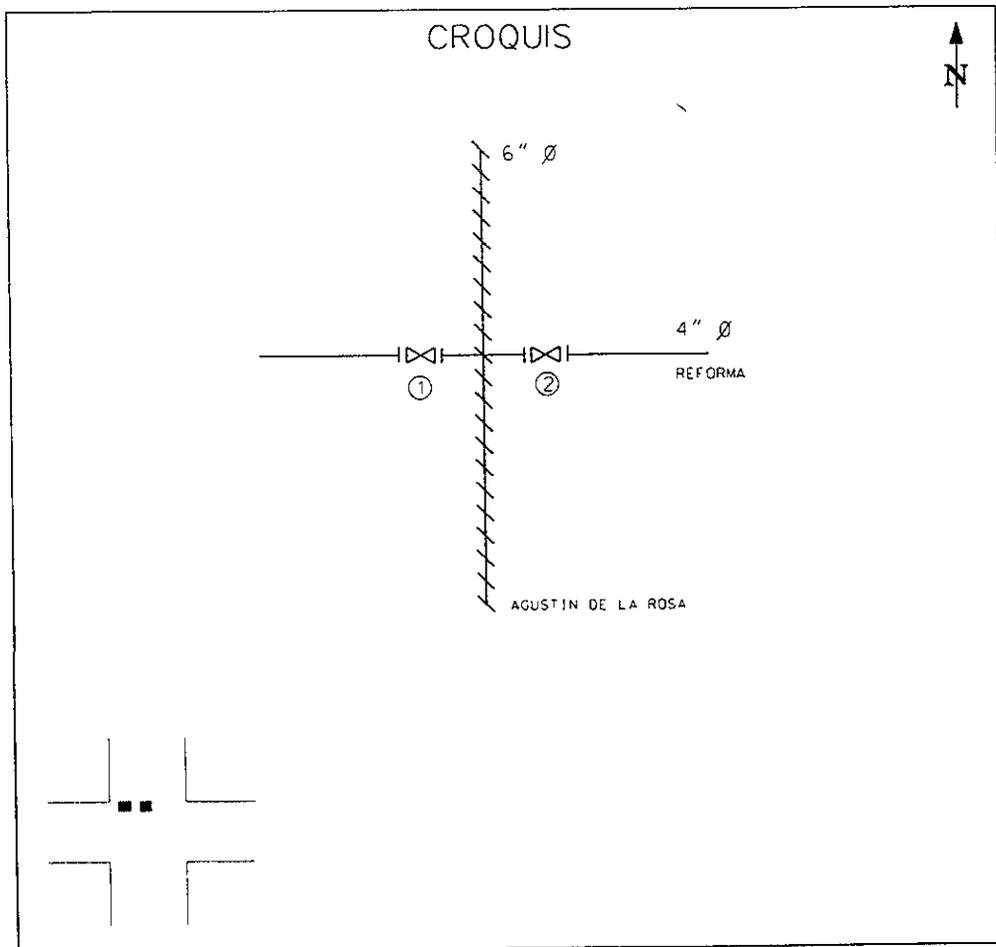
Manejo del Equipo Hidrometria  
Comisión Nacional del Agua  
Libro III  
Septiembre, 1994

Manual de Supervisión para la sectorización de la red de Agua Potable  
Comisión de Aguas del Distrito Federal  
México, D.F., Febrero 1997

# LEVANTAMIENTO DE VALVULAS

## DISTRITO CENTRO

UBICACION	REFORMA - AGUSTIN DE LA ROSA	CALIBRACION	VALV. ABIERTAS CALIBRADAS
COLONIA	_____	DIAMETRO	6" x 4" Ø
No. CRUCERO	11-29-2	CIRCUITO	2
AGUA PROVENIENTE DE:	_____		
TANDEO?	_____	HORARIO	_____



OBSERVACIONES VALV. 1 ABIERTA 10 VUELTAS. VALV. 2 ABIERTA 12 VUELTAS

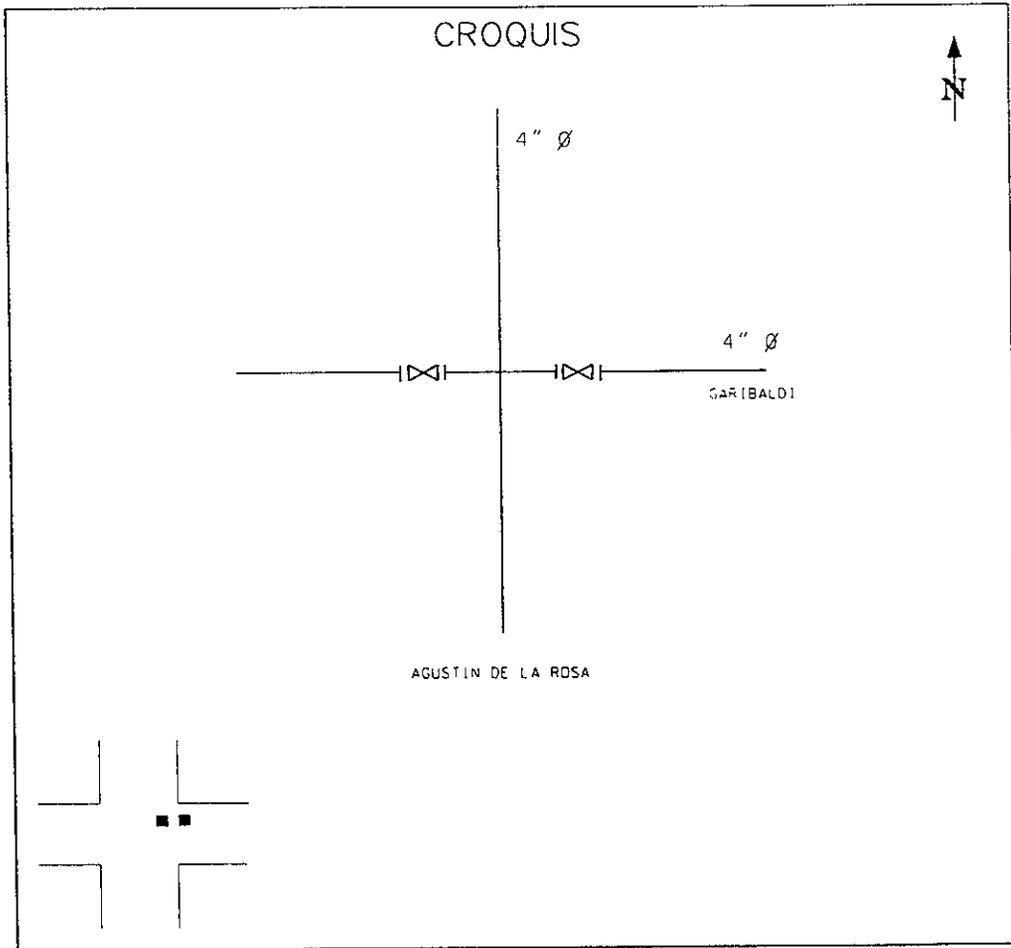
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

# LEVANTAMIENTO DE VALVULAS DISTRITO CENTRO

UBICACION	AGUSTIN DE LA ROSA - GARIBALDI	CALIBRACION	VALV. NO OPERAN
COLONIA	_____	DIAMETRO	4" x 4" Ø
No CRUCERO	11-44-2	CIRCUITO	2
AGUA PROVENIENTE DE: _____			
TANDEO? _____		HORARIO _____	



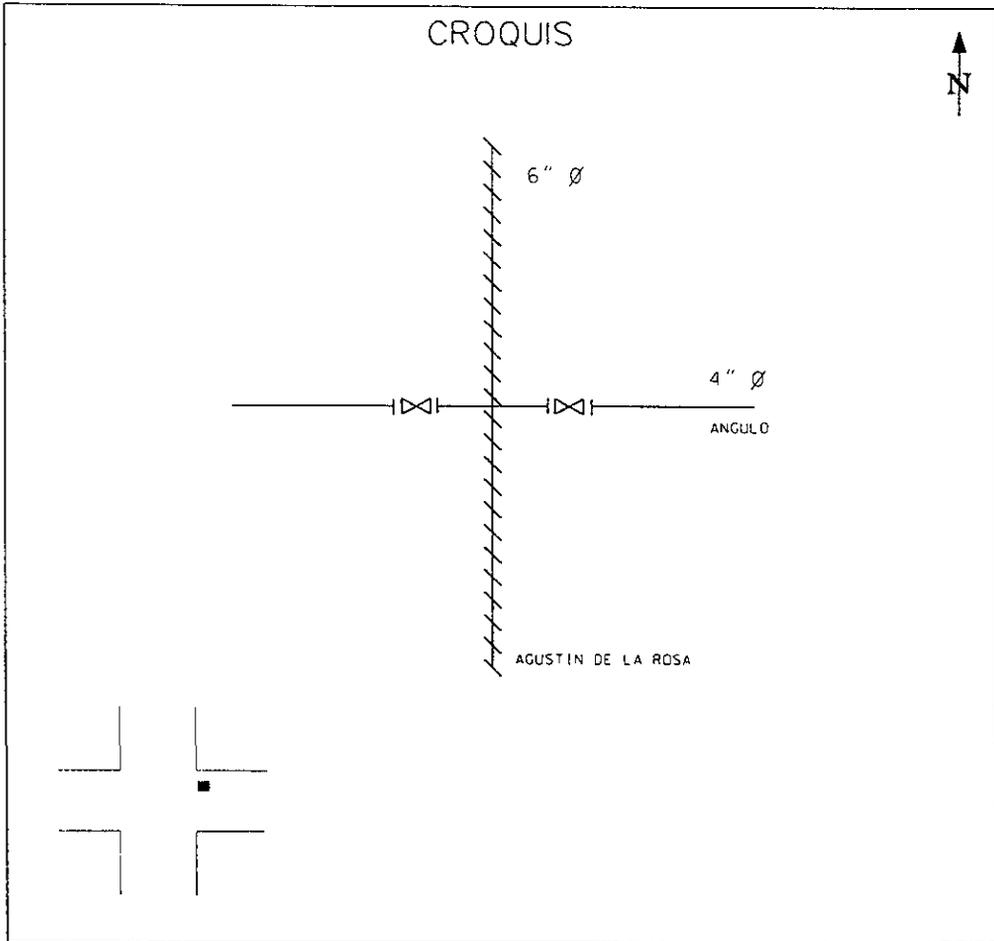
OBSERVACIONES \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

# LEVANTAMIENTO DE VALVULAS DISTRITO CENTRO

UBICACION	AGUSTIN DE LA ROSA - ANGULO	CALIBRACION	VALV. NO. OPERAN
COLONIA	_____	DIAMETRO	6" x 4" Ø
No CRUCERO	11-58-2	CIRCUITO	2
AGUA PROVENIENTE DE:	_____		
TANDEO?	_____	HORARIO	_____



OBSERVACIONES \_\_\_\_\_

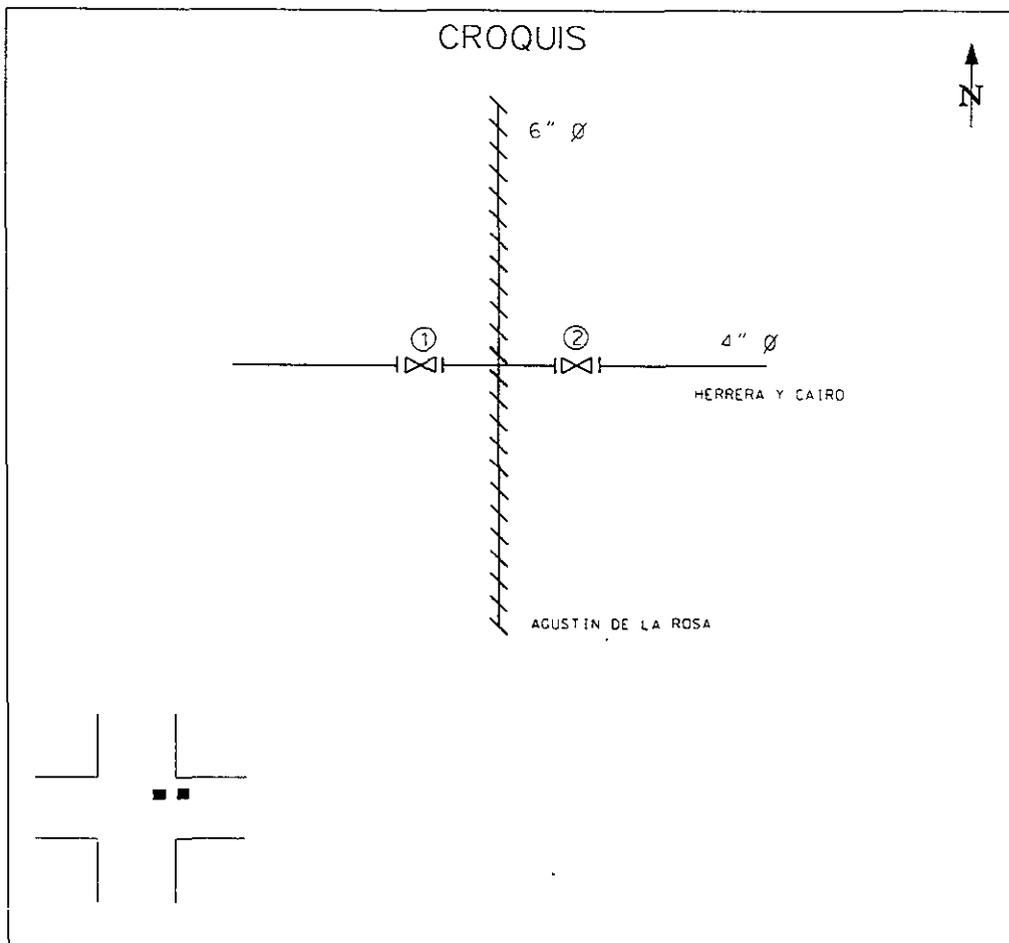
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

# LEVANTAMIENTO DE VALVULAS DISTRITO CENTRO

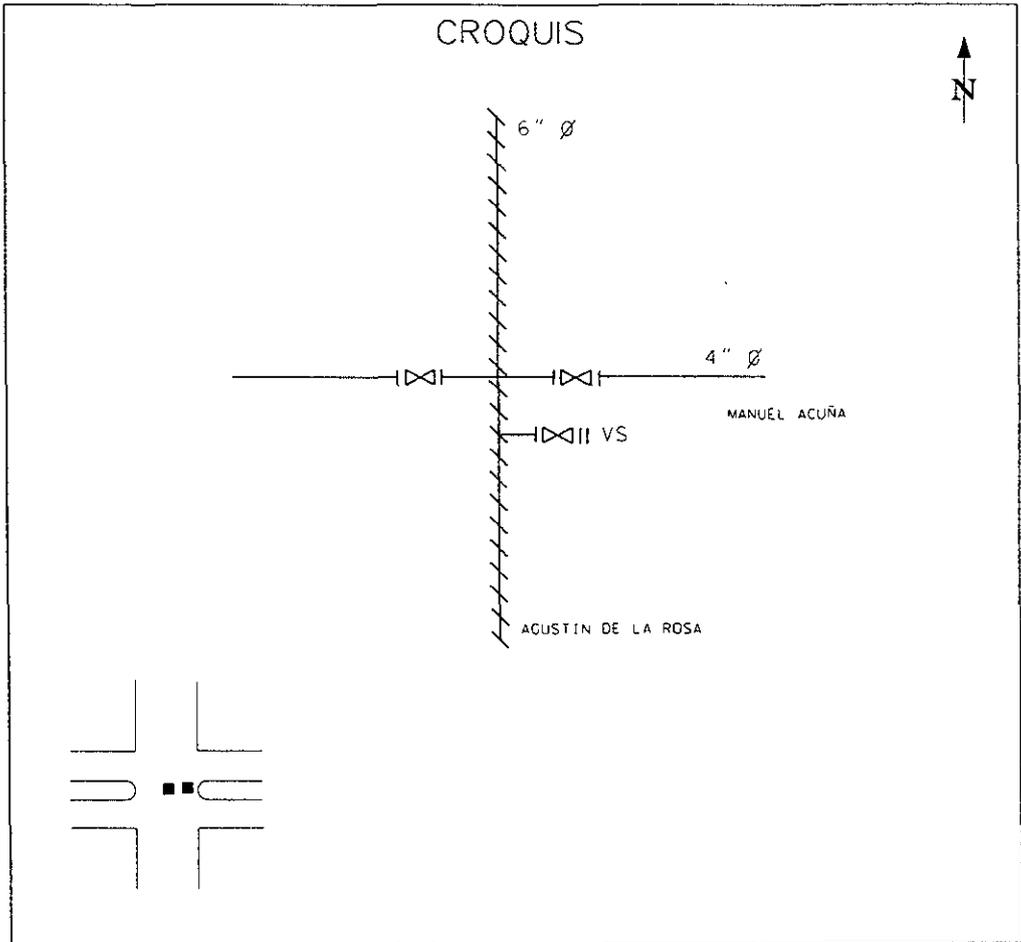
UBICACION	AGUSTIN DE LA ROSA-HERRERA Y CAIRO	CALIBRACION	VER OBS.
COLONIA	_____	DIAMETRO	6"x 4" $\emptyset$ foro
No. CRUCERO	II-70-2	CIRCUITO	2
AGUA PROVENIENTE DE:	_____		
TANDEO?	_____	HORARIO	_____



OBSERVACIONES VALV. 1 NO FUNCIONA: VALV. 2 ABIERTA

# LEVANTAMIENTO DE VALVULAS DISTRITO CENTRO

UBICACION <u>MANUEL ACUÑA - AGUSTIN DE LA ROSA</u>	CALIBRACION	VALV. NO OPERA
COLONIA _____	DIAMETRO	<u>6"x4" Ø</u>
No. CRUCERO <u>11-82-2</u>	CIRCUITO	<u>2</u>
AGUA PROVENIENTE DE: _____		
TANDEO? _____	HORARIO _____	

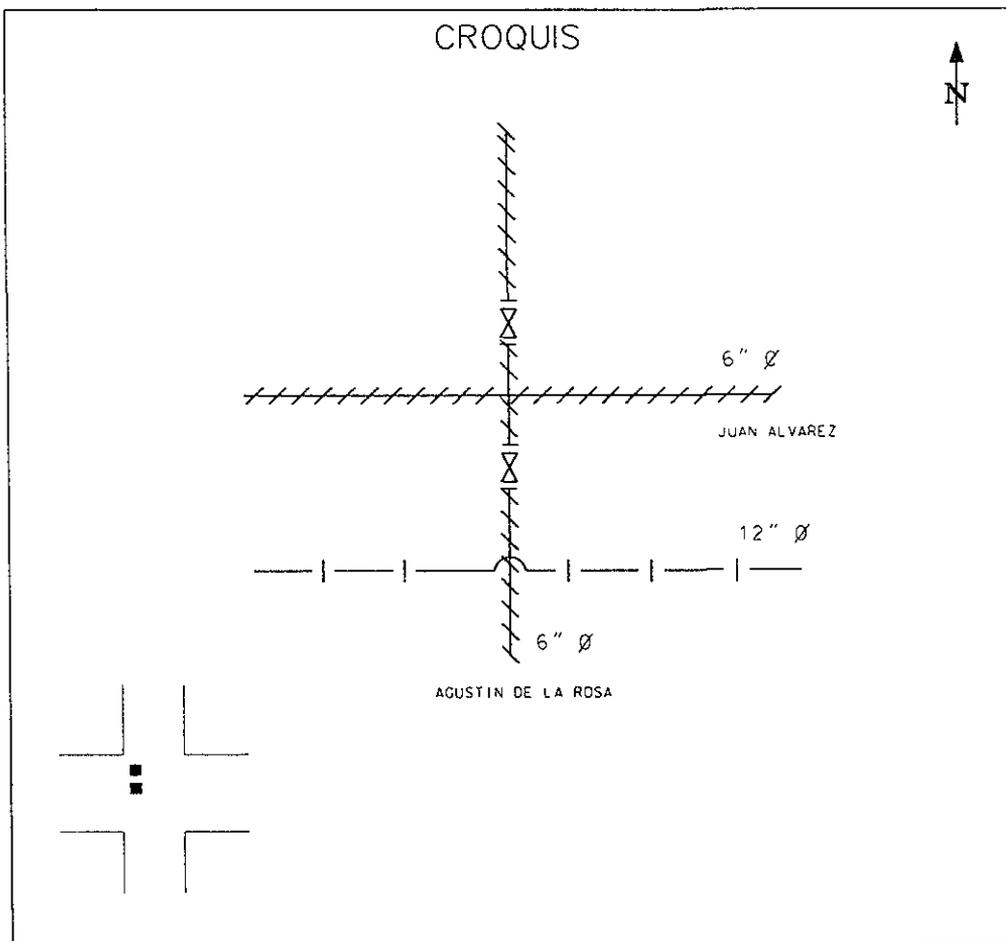


OBSERVACIONES \_\_\_\_\_

# LEVANTAMIENTO DE VALVULAS

## DISTRITO CENTRO

UBICACION	JUAN ALVAREZ - AGUSTIN DE LA ROSA	CALIBRACION	VALV. NO FUNCIONA
COLONIA		DIAMETRO	6"x6" Ø Y 6"x12" Ø
No. CRUCERO	11-92-2	CIRCUITO	2
AGUA PROVENIENTE DE: _____			
TANDEO? _____		HORARIO _____	



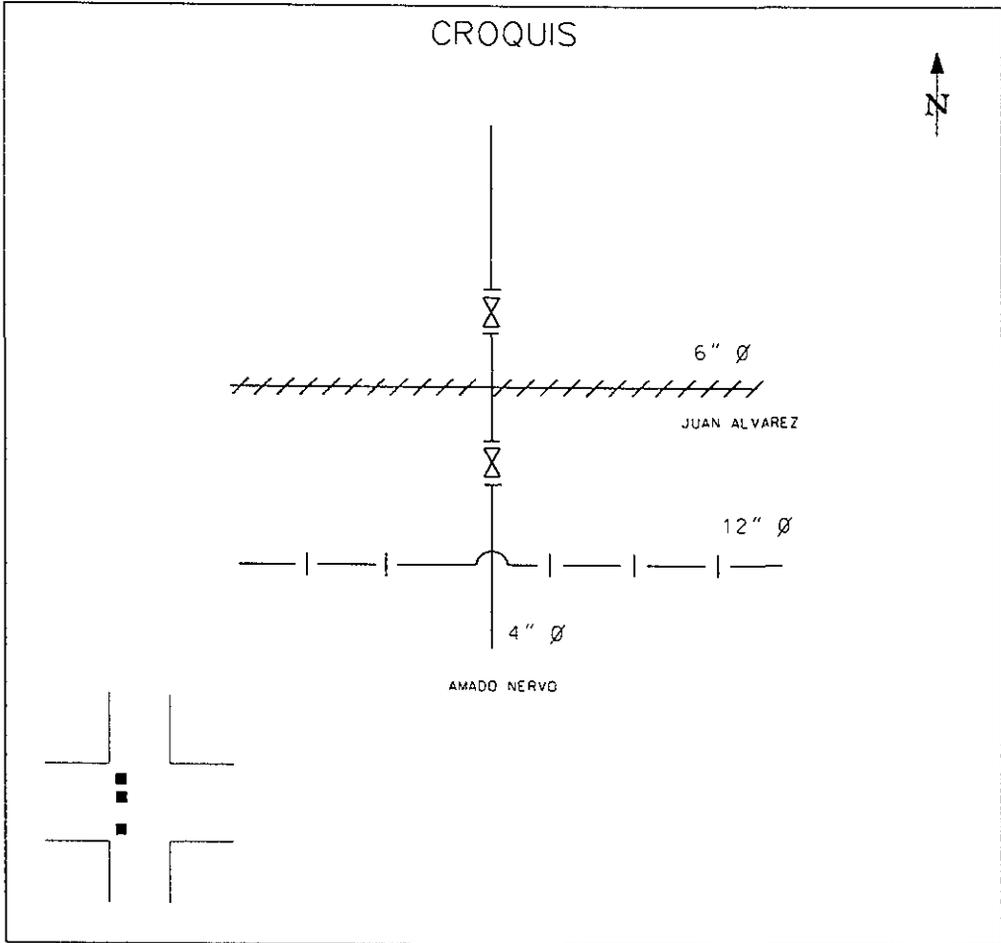
OBSERVACIONES \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

# LEVANTAMIENTO DE VALVULAS DISTRITO CENTRO

UBICACION	JUAN ALVAREZ - AMADO NERVO	CALIBRACION	VALV. NO OPERAN
COLONIA	_____	DIAMETRO	6"x4" Ø Y 4"x12" Ø
No. CRUCERO	11-93-2	CIRCUITO	2
AGUA PROVENIENTE DE	_____		
TANDEO?	_____	HORARIO	_____

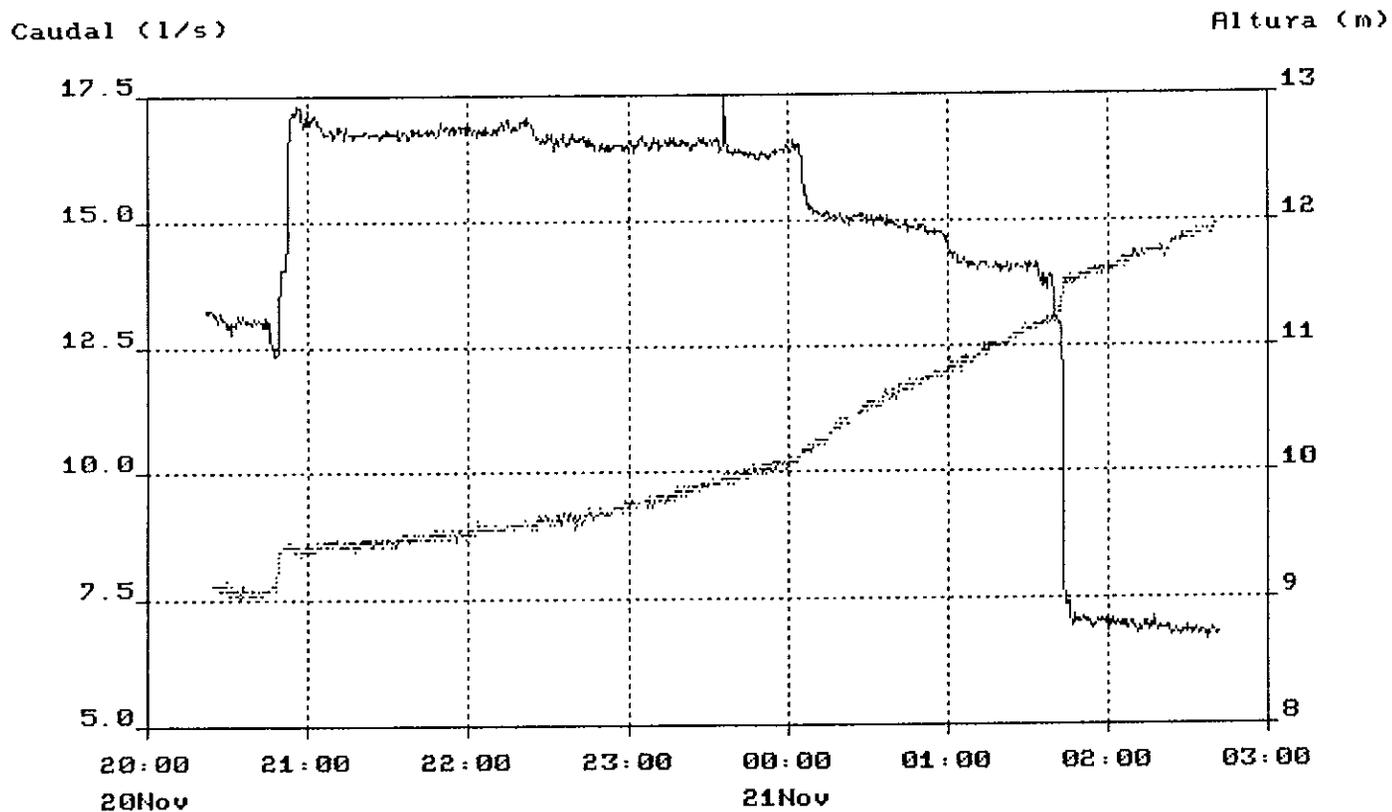


OBSERVACIONES \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

— CAUDAL  
PRESION  
STEP DE MEDICION



Biblio Config Datos Fusión Utiles Archivar Salir Proceso

Sitio : CIRC-02 003 [rp] Datos  
Caudal Mínimo : 16.69 l/s  
Máximo : 17.00 l/s

Notas : J.ALVAREZ Y L.MATEOS

Sensor : Aquaprobe Promedio : 16.82 l/s  
Diametro intern : 150,000 mm

Intervalo : Continuada

Periodo h:m:s	Núm. de lecturas	Fecha y hora de parada
00:00:30	61	20/11/97 22:10

Registrador : Octopus21 0827  
Inicio : Jue 20/11/97 a 21:40 h  
Parada : Jue 20/11/97 a 22:10 h  
Ventana : h

Lecturas : 61  
Lapso de tiempo : 0 j 00 h 30 mn

F1-Ayuda F2-Parámetros F3-Tabla F4-Gráfica F7-Recopia 12/04/99 17 58

Biblio Config Datos Fusion Utiles Archivar Salir Proceso

Sitio : CIRC-02 .003 [rp] Datos  
Notas : J.ALVAREZ Y L.MATEOS Caudal Mínimo : 16.41 l/s  
Maximo : 16.72 l/s  
Promedio : 16.59 l/s

Sensor : Aquaprobe  
Diametro intern : 150,000 mm

Intervalo : Continuada

Periodo h:m:s	Num de lecturas	Fecha y hora de parada
00:00:30	41	20/11/97 22:50

Registrador : Octopus21 0827  
Inicio : Jue 20/11/97 a 22:30 h  
Parada : Jue 20/11/97 a 22:50 h  
Ventana : h

Lecturas : 41  
Lapso de tiempo : 0 j 00 h 20 mn

F1-Ayuda F2-Parametros F3-Tabla F4-Gráfica F7-Recopia 12/04/99 17 59

Biblio Config Datos Fusión Utiles Archivar Salir Proceso

Sitio : SECTOR 2 003 [rp] Datos :  
Notas : J.ALVAREZ Y L.MATEOS Caudal Mínimo : 16.38 l/s  
Sensor : Aquaprobe Máximo : 16.69 l/s  
Diámetro intern : 150.000 mm Promedio : 16.54 l/s  
Intervalo : Continuada

Periodo h:m:s	Núm de lecturas	Fecha y hora de parada
00:00:30	41	20/11/97 23:21

Registrador : Octopus2I 0827  
Inicio : Jue 20/11/97 a 23:01 h  
Parada : Jue 20/11/97 a 23:21 h  
Ventana : h

Lecturas : 41  
Lapso de tiempo : 0 j 00 h 20 mn

F1-Ayuda F2-Parametros F3-Tabla F4-Gráfica F7-Recopia 12/04/99 18 06

Biblio Config Datos Fusión Utiles Archivar Salir Proceso

Sitio : CIRC-02 .003 [rp] Datos :  
Notas : J.ALVAREZ Y L.MATEOS Caudal Mínimo : 16.38 l/s  
Sensor : Aquaprobe Máximo : 16.69 l/s  
Diámetro intern : 150.000 mm Promedio : 16.54 l/s  
Intervalo : Continuada

Periodo h:m:s	Num. de lecturas	Fecha y hora de parada
00:00:30	41	20/11/97 23:21

Registrador : Octopus2I 0827  
Inicio : Jue 20/11/97 a 23:01 h  
Parada : Jue 20/11/97 a 23:21 h  
Ventana : h

Lecturas : 41  
Lapso de tiempo : 0 j 00 h 20 mn

F1-Ayuda F2-Parametros F3-Tabla F4-Gráfica F7-Recopia 12/04/99 18 06

Biblio Config Datos Fusión Utiles Archivar Salir Proceso

Sitio : CIRC-02 .003 [rp] Datos :  
Notas : J.ALVAREZ Y L.MATEOS Caudal Mínimo 14.88 l/s  
Máximo 15.62 l/s  
Sensor : Aquaprobe Promedio 15.14 l/s  
Diámetro intern : 150,000 mm  
Intervalo : Continuada

Periodo h:m:s	Núm. de lecturas	Fecha y hora de parada
00:00:30	43	21/11/97 00:27

Registrador : Octopus21 0827  
Inicio : Vie 21/11/97 a 00:06 h  
Parada : Vie 21/11/97 a 00:27 h  
Ventana : h

Lecturas : 43  
Lapso de tiempo 0 j 00 h 21 mn

F1-Ayuda F2-Parametros F3-Tabla F4-Grafica F7-Recopia 13/04/99 09:18

Biblio Config Datos Fusión Utiles Archivar Salir Proceso

Sitio : CIRC-02 .003 [rp] Datos :  
Notas : J.ALVAREZ Y L.MATEOS Caudal Mínimo 14.72 l/s  
Máximo : 15.06 l/s  
Sensor : Aquaprobe Promedio 14.85 l/s  
Diámetro intern : 150,000 mm  
Intervalo : Continuada

Periodo h:m:s	Num de lecturas	Fecha y hora de parada
00:00:30	41	21/11/97 00:56

Registrador : Octopus21 0827  
Inicio : Vie 21/11/97 a 00:36 h  
Parada : Vie 21/11/97 a 00:56 h  
Ventana : h

Lecturas : 41  
Lapso de tiempo 0 j 00 h 20 mn

F1-Ayuda F2-Parámetros F3-Tabla F4-Grafica F7-Recopia 13/04/99 09:20

Biblio Config Datos Fusión Utiles Archivar Salir Proceso

Sitio : CIRC-02.003 [rp] Datos :  
 Notas : J.ALVAREZ Y L.MATEOS Caudal Mínimo : 13.94 l/s  
 Máximo : 14.22 l/s  
 Promedio : 14.09 l/s

Sensor : Aquaprobe  
 Diámetro intern : 150,000 mm  
 Intervalo : Continuada

Periodo h:m:s	Núm. de lecturas	Fecha y hora de parada
00:00:30	43	21/11/97 01:26

Registrador : Octopus21 0827  
 Inicio : Vié 21/11/97 a 01:05 h  
 Parada : Vié 21/11/97 a 01:26 h  
 Ventana : h

Lecturas : 43  
 Lapso de tiempo : 0 j 00 h 21 mn

F1-Ayuda F2-Parametros F3-Tabla F4-Gráfica F7-Recopia 13/04/99 09:23

Biblio Config Datos Fusión Utiles Archivar Salir Proceso

Sitio : CIRC-02.003 [rp] Datos : Caudal  
 Notas : J.ALVAREZ Y L.MATEOS Mínimo : 6.81 l/s  
 Máximo : 7.41 l/s  
 Promedio : 7.06 l/s

Sensor : Aquaprobe  
 Diámetro intern : 150,000 mm  
 Intervalo : Continuada

Periodo h:m:s	Núm. de lecturas	Fecha y hora de parada
00:00:30	41	21/11/97 02:04

Registrador : Octopus21 0827  
 Inicio : Vié 21/11/97 a 01:44 h  
 Parada : Vié 21/11/97 a 02:04 h  
 Ventana : h

Lecturas : 41  
 Lapso de tiempo : 0 j 00 h 20 mn

F1-Ayuda F2-Parametros F3-Tabla F4-Gráfica F7-Recopia 13/04/99 09:25

Biblio Config Datos Fusión Utiles Archivar Salir Proceso

Sitio	CIRC-02 003 [rp]	Datos	.
Notas	J ALVAREZ Y L.MATEOS	Caudal Mínimo	. 6.75 l/s
		Máximo	: 7.12 l/s
Sensor	Aquaprobe	Promedio	. 6.90 l/s
Diámetro intern	: 150,000 mm		
Intervalo	Continuada		
		Periodo	Núm. de
		h:m:s	lecturas
		00:00:30	41
			Fecha y hora
			de parada
			21/11/97 02:26

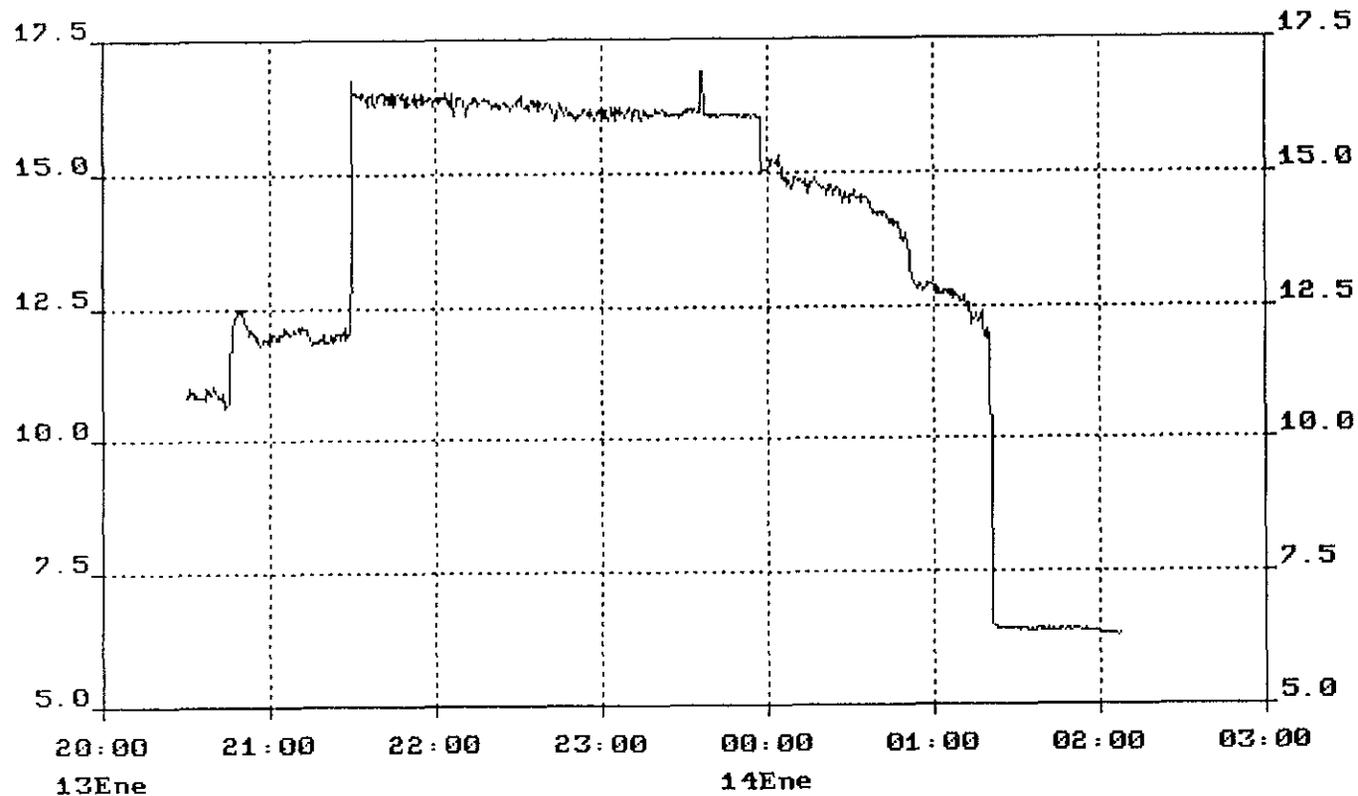
Registrador Octopus21 0827  
Inicio . Vie 21/11/97 a 02:06 h  
Parada . Vie 21/11/97 a 02.26 h  
Ventana h

Lecturas . 41  
Lapso de tiempo 0 j 00 h 20 mn

F1-Ayuda F2-Parametros F3-Tabla F4-Gráfica F7-Recopia 13/04/99 09:29

# STEP DE CONTROL

Caudal (l/s)



Biblio Config Datos Fusión Utiles Archivar Salir Proceso

Sitio : CIRC2 .017 [rp] Datos : Caudal  
Notas : LOPEZ M Y JUAN A. Caudal Mínimo : 16.10 l/s  
Máximo : 16.50 l/s  
Promedio : 16.33 l/s

Sensor : Aquaprobe  
Diámetro intern 150,000 mm  
Intervalo : Continuada

Periodo h:m:s	Núm. de lecturas	Fecha y hora de parada
00:00:30	61	13/01/98 22:30

Registrador : Octopus2I 0827  
Inicio : Már 13/01/98 a 22:00 h  
Parada : Már 13/01/98 a 22:30 h  
Ventana : h

Lecturas : 61  
Lapso de tiempo : 0 j 00 h 30 mn

F1-Ayuda F2-Parametros F3-Tabla F4-Gráfica F7-Recopia 13/04/99 17:42

Biblio Config Datos Fusión Utiles Archivar Sahr Proceso

Sitio : CIRC2 .017 [rp] Datos :  
Notas : LOPEZ M Y JUAN A. Caudal Mínimo : 16.00 l/s  
Maximo : 16.39 l/s  
Promedio : 16.17 l/s

Sensor : Aquaprobe  
Diámetro intern : 150,000 mm  
Intervalo : Continuada

Periodo h:m:s	Num. de lecturas	Fecha y hora de parada
00:00:30	61	13/01/98 23:04

Registrador : Octopus2I 0827  
Inicio : Mar 13/01/98 a 23:04 h  
Parada : Már 13/01/98 a 23:04 h  
Ventana : h

Lecturas : 61  
Lapso de tiempo : 0 j 00 h 30 mn

F1-Ayuda F2-Parametros F3-Tabla F4-Gráfica F7-Recopia 13/04/99 17:44

Biblio Config Datos Fusión Útiles Archivar Salir Proceso

Sitio : CIRC2 .017 [rp] Datos :  
Notas : LOPEZ M. Y JUAN A. Caudal Mínimo : 16.00 l/s  
Máximo : 16.24 l/s  
Promedio : 16.11 l/s

Sensor : Aquaprobe  
Diámetro intern 150,000 mm  
Intervalo : Continuada

Periodo h:m:s	Núm. de lecturas	Fecha y hora de parada
00:00:30	41	13/01/98 23:30

Registrador : Octopus21 0827  
Inicio : Már 13/01/98 a 23:10 h  
Parada : Már 13/01/98 a 23:30 h  
Ventana h

Lecturas : 41  
Lapso de tiempo : 0 j 00 h 20 mn

F1-Ayuda F2-Parámetros F3-Tabla F4-Gráfica F7-Recopia 13/04/99 17 45

Biblio Config Datos Fusión Útiles Archivar Salir Proceso

Sitio : CIRC2 017 [rp] Datos Caudal  
Notas : LOPEZ M Y JUAN A. Caudal Mínimo : 16.04 l/s  
Máximo : 16.09 l/s  
Promedio : 16.07 l/s

Sensor : Aquaprobe  
Diámetro intern : 150,000 mm  
Intervalo : Continuada

Periodo h:m:s	Núm. de lecturas	Fecha y hora de parada
00:00:30	41	13/01/98 23:57

Registrador : Octopus21 0827  
Inicio : Már 13/01/98 a 23:57 h  
Parada : Már 13/01/98 a 23:57 h  
Ventana h

Lecturas : 41  
Lapso de tiempo : 0 j 00 h 20 mn

F1-Ayuda F2-Parametros F3-Tabla F4-Gráfica F7-Recopia 13/04/99 17 47

Biblio Config Datos Fusión Utiles Archivar Salir Proceso

Sitio : CIRC2 .017 [rp] Datos  
Notas : LOPEZ M. Y JUAN A. Caudal Mínimo : 14.64 l/s  
Máximo : 15.35 l/s  
Promedio : 14.91 l/s

Sensor : Aquaprobe  
Diámetro intern : 150,000 mm  
Intervalo : Continuada

Periodo h.m:s	Núm. de lecturas	Fecha y hora de parada
00 00:30	41	14/01/98 00 20

Registrador : Octopus21 0827  
Inicio : Mié 14/01/98 a 00:00 h  
Parada : Mié 14/01/98 a 00.20 h  
Ventana : h

Lecturas : 41  
Lapso de tiempo : 0 j 00 h 20 mn

F1-Ayuda F2-Parámetros F3-Tabla F4-Gráfica F7-Recopia 13/04/99 17 48

Biblio Config Datos Fusión Utiles Archivar Salir Proceso

Sitio : CIRC2 .017 [rp] Datos  
Notas : LOPEZ M. Y JUAN A. Caudal Mínimo : 14.03 l/s  
Máximo : 14.72 l/s  
Promedio : 14.44 l/s

Sensor : Aquaprobe  
Diámetro intern : 150,000 mm  
Intervalo : Continuada

Periodo h:m s	Num de lecturas	Fecha y hora de parada
00:00 30	41	14/01/98 00 44

Registrador : Octopus21 0827  
Inicio : Mié 14/01/98 a 00.24 h  
Parada : Mié 14/01/98 a 00 44 h  
Ventana : h

Lecturas : 41  
Lapso de tiempo : 0 j 00 h 20 mn

F1-Ayuda F2-Parametros F3-Tabla F4-Gráfica F7-Recopia 13/04/99 17 50

Biblio Config Datos Fusión Utiles Archivar Salir Proceso

Sitio : CIRC2 017 [rp] Datos :  
Notas : LOPEZ M. Y JUAN A. Caudal Mínimo 12.50 l/s  
Máximo : 13.12 l/s  
Sensor : Aquaprobe Promedio 12.78 l/s  
Diámetro intern : 150,000 mm  
Intervalo : Continuada

Periodo h:m:s	Núm. de lecturas	Fecha y hora de parada
00:00:30	41	14/01/98 01 12

Registrador : Octopus21 0827  
Inicio : Mié 14/01/98 a 00:52 h  
Parada : Mié 14/01/98 a 01:12 h  
Ventana : h

Lecturas : 41  
Lapso de tiempo : 0 J 00 h 20 mn

F1-Ayuda F2-Parametros F3-Tabla F4-Gráfica F7-Recopia 13/04/99 17 51

Biblio Config Datos Fusión Utiles Archivar Salir Proceso

Sitio : CIRC2 017 [rp] Datos : Caudal  
Notas : LOPEZ M Y JUAN A Caudal Mínimo : 6.35 l/s  
Máximo : 8.91 l/s  
Sensor : Aquaprobe Promedio : 6.45 l/s  
Diámetro intern : 150,000 mm  
Intervalo : Continuada

Periodo h:m:s	Núm. de lecturas	Fecha y hora de parada
00:00:30	41	14/01/98 01 41

Registrador : Octopus21 0827  
Inicio : Mié 14/01/98 a 01:21 h  
Parada : Mié 14/01/98 a 01:41 h  
Ventana : h

Lecturas : 41  
Lapso de tiempo : 0 J 00 h 20 mn

F1-Ayuda F2-Parametros F3-Tabla F4-Gráfica F7-Recopia 13/04/99 17 53

Biblio Config Datos Fusión Utiles Archivar Salir Proceso

Sitio : CIRC2 .017 [rp] Datos .  
Notas : LOPEZ M. Y JUAN A. Caudal Mínimo : 6.31 l/s  
Máximo : 6.40 l/s  
Sensor : Aquaprobe Promedio : 6.36 l/s  
Diámetro intern : 150,000 mm  
Intervalo : Continuada

Periodo h m:s	Núm. de lecturas	Fecha y hora de parada
00.00:30	41	14/01/98 02:02

Registrador : Octopus21 0827  
Inicio : Mié 14/01/98 a 01.42 h  
Parada : Mié 14/01/98 a 02:02 h  
Ventana : h

Lecturas : 41  
Lapso de tiempo : 0 j 00 h 20 mn

F1-Ayuda F2-Parámetros F3-Tabla F4-Gráfica F7-Recopia 13/04/99 19 24