



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA CIVIL
TOPOGRÁFICA Y GEODÉSICA

ENRIQUE OSNAYA ROMERO

PRESENTA LA TESIS

*“USO DE EQUIPO ACÚSTICO PARA LA DETECCIÓN DE
FUGAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN
DE AGUA POTABLE”*

A LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNAM

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

Director de Tesis

Víctor Franco



Ciudad Universitaria México, enero de 2002



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.

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Sistemas de agua potable	1
1.2 Suministro de agua potable a las comunidades	2
1.3 Lugares donde se presentan las fugas	2
2. MÉTODOS DE DETECCIÓN DE FUGAS	4
2.1 Detección de fugas por la caída de presión	4
2.2 Detección de fugas por medición en distritos hidrométricos	5
2.3 Detección de fugas por sonido	8
3. CORRELADORES	10
3.1 Sonido	10
3.1.1 Fundamentos	10
3.1.2 Variación de presión en una onda sonora	12
3.1.3 Intensidad	12
3.1.4 Nivel de intensidad y sonoridad	13
3.1.5 Efecto Doppler	14
3.1.6 Aplicaciones	14
3.2 Principios de funcionamiento y limitaciones	15
3.2.1 Principios del registro de los datos sincronizados de Corralog	18
3.2.2 Audición acústica	18
3.2.3 Procedimiento básico de funcionamiento	19
3.2.4 Menú de navegación y entrada de datos	19
3.2.5 Menú principal	20
3.3 Casos generales y particulares	21
3.4 Presentación de diferentes marcas de correladores	24
3.4.1 Lokal 100	24
3.4.2 Lokal 200	25
3.4.3 Lokal 300	26
3.4.4 Detector acústico OMIKRON	26
3.4.5 Detector acústico PHOCUS	27
3.4.6 Data-logger	28
3.4.7 MicroCorr6	29
3.4.8 Micro Call	30
3.4.9 Corralog	32
4. CONCLUSIONES	36
BIBLIOGRAFÍA	38

1. INTRODUCCIÓN

Las poblaciones requieren de un servicio eficiente de agua potable. El cual se hace llegar a los domicilios o cerca de ellos por medio de tuberías; pero en su transporte se pierde agua lo que origina pérdidas económicas y sobre todo de agua.

1.1 Sistemas de agua potable

Para garantizar el suministro de agua potable, se necesita una serie de estructuras, que al operar en forma conjunta forman un sistema de abastecimiento de este líquido. Este sistema puede iniciar con una fuente, ya sea superficial (por mencionar, ojos de agua, ríos, etc) o subterránea (acuíferos), después una obra de captación, que puede necesitar una planta de tratamiento en caso de que no se tengan los límites permisibles de calidad en el agua o una planta cloradora para garantizar la potabilidad del líquido. Posteriormente, se procede a la conducción del líquido a tanques llamados de distribución donde se almacena y ellos cumplen con la función de que se asegure el agua a la población, posteriormente se pasa a la distribución, esta lleva el agua a la llamada línea primaria, que a su vez es la que se encarga de abastecer a las líneas secundarias y estas a cada uno de los domicilios. Junto con el sistema de agua potable se requiere de otro de alcantarillado para el desecho de las aguas una vez que han sido usadas (es del orden del 75 % del agua suministrada).

1.2 Suministro de agua potable a las comunidades

En algunos casos es fácil encontrar una fuente cercana para abastecer de agua potable a una comunidad, pero en otros ella está muy retirada del lugar por lo que el líquido tiene que recorrer grandes distancias para que la población tenga este servicio. El conducir el agua desde distancias muy lejanas resulta costoso esto por el mantenimiento de la red. Pero, si el abastecimiento, con el tiempo se vuelve irregular, se debe principalmente a dos casos uno es que la fuente ya proporciona la cantidad de agua que en un principio suministraba y la otra es que haya una gran cantidad de fugas dentro de las líneas primarias y secundarias, así como en tomas domiciliarias. Si se presenta el segundo caso, entonces hay que proceder a la detección de ellas y a su reparación.

Una fuga incluye entre otras, a roturas, juntas mal selladas, defectos de instalación de tomas y daños por corrosión. Un aspecto que influye es el asentamiento del terreno y el paso excesivo de camiones de gran tonelaje por las calles. La ruptura implica la falla estructural de tuberías, que se aprecia como una fisura o daño mayor en la tubería. Por lo mencionado se concluye que las fugas causan importantes pérdidas económicas y de agua.

Hay dos tipos de fugas, las visibles y las no visibles; las primeras se observan cuando el agua emerge sobre la superficie del terreno, ya sea pavimento, terracería, empedrado, etc. Aunque en realidad la fuga se localice a una distancia considerable de donde se visualizó; estas fugas por lo regular son localizadas por el organismo operador o reportes de los usuarios. Las segundas no se distinguen donde ocurren por lo cual es difícil detectarlas.

1.3 Lugares donde se presentan las fugas

En los depósitos o tanques de almacenamiento se presentan fugas, ya sea por agrietamiento o por rebose de los niveles de agua. En general, son de gran magnitud, esporádicas y de corta duración. Se deben realizar inspecciones del estado físico de los almacenamientos y dar un mantenimiento adecuado a las válvulas controladoras de niveles de agua de los depósitos.

También en las conducciones, líneas primarias y líneas secundarias se llega a tener fugas a consecuencia de la corrosión interna o externa, por defectos de fabricación del material, exceso de cargas de presión, contacto con otras estructuras, defectos constructivos, agentes externos o combinaciones de todas estas circunstancias. El gasto de estas fugas es del orden de 0.25 l/s hasta 10 l/s y en algunos casos es mayor.

Por otra parte, las fugas en las tomas domiciliarias, corresponden a rajaduras, perforaciones y piezas de conexión flojas. En este caso se llegan a presentar gastos entre 0.02 a 0.25 l/s. Las fugas en rajaduras y piezas flojas se asocian a la

mala calidad del material empleado o a una instalación deficiente. Las perforaciones y el corte en las tuberías se deben a factores externos.

Los goteos en los cuadros de los medidores representan un gasto de 0.014 a 0.028 l/s, estos son producidos por piezas mal colocadas y la falta de hermeticidad en el micromedidor.

Las válvulas también pueden presentar fugas y son ocasionadas por ruptura de empaques o volante de las válvulas. En las válvulas reductoras o reguladoras de presión o de aire, el gasto de la fuga varía de 0.2 a 1 l/s.

Dentro de los domicilios también se presentan fugas, las que se localizan en los herrajes de los excusados o bien en los empaques de regaderas y llaves.

En México la mayoría de las fugas se presentan en las conexiones domiciliarias y son ocasionadas por los factores siguientes: mala calidad en los materiales utilizados y/o instalación defectuosa

Del 100% de agua que llega a una ciudad en promedio el 44% se pierde en fugas y el 56% se consume; de las fugas el 29% se pierde en tomas domiciliarias, el 7% en la red y el 8% en administración; de lo que se consume 40% se mide, el 12% se estima el consumo y el 4% con otros mecanismos.

Las fugas en su inicio son pequeñas pero con el paso del tiempo van aumentando, por lo que la duración promedio de una fuga, puede variar de semanas, a meses y, en algunos casos, años.

2. MÉTODOS DE DETECCIÓN DE FUGAS

Para la detección de fugas existen diferentes procedimientos:

- Medición de presión en diferentes puntos de la red de agua.
- Distritos pitométricos, este método más que puntualizar el lugar de la fuga indica si existe fuga y proporciona una idea general de donde pueda estar localizada la misma.
- Se considera un tercero, que no necesariamente es un método, ya que se hace una localización accidental de fugas cuando los operadores realizan sus recorridos durante sus rutinas de mantenimiento y operación, así como cuando los usuarios las reportan.

La manera para detectar y localizar fugas consiste en combinar los diferentes métodos, el más común es utilizar equipo electroacústico que permite escuchar el ruido producido por las fugas.

2.1 Detección de fugas por la caída de presión

El método requiere medir la presión en algunos puntos de la tubería, con ayuda de un manómetro el cual se adapta a una manguera y una conexión semejante a las llaves de la casa. Para realizar estas mediciones se recomienda por comodidad y rapidez hacerlas directamente en las tomas domiciliarias, ya que estas son parte de las tuberías. Cuando se presenta una caída de presión en el sentido del flujo

esta es una señal de que puede existir una fuga o una toma clandestina o bien se trata de una toma domiciliaria abierta, por lo que se recomienda localizar la fuga con un equipo más preciso.

Este método es utilizado, principalmente, por PEMEX que mide la presión en sus oleoductos para detectar fugas o la extracción ilícita del hidrocarburo; es más fácil para esta empresa detectar por este medio las fugas, debido a que sus usuarios son pocos y están debidamente registrados.

Para tener un trabajo exitoso en la detección de fugas con este procedimiento, es recomendable hacer lo siguiente:

- La presión se debe medir en los puntos que estén más cercanos a la tubería que se esta revisando
- Ver que no se este usando la toma domiciliaria en esos momentos ya que se debe desconectar el medidor para conectar un manómetro en su lugar
- El manómetro que se utilice debe tener una escala adecuada para que se pueda registrar con precisión la presión en la tubería
- Cuando se haga una medición en las tomas domiciliarias hay que verificar que estén conectadas a la misma tubería
- Las mediciones deben hacerse en tramos no mayores de 100 m, con una diferencia de tiempo menor a 30 minutos para realizar las lecturas, ya que si se toma un tiempo mayor la presión puede variar
- Las tomas deberán estar a la misma elevación, ya que de lo contrario es necesario ajustar las lecturas, esto es con el objeto de obtener la presión con respecto a un punto de referencia
- Un mismo operador deberá hacer todas las mediciones con ayuda de un solo manómetro

2.2 Detección de fugas por medición en distritos pitométricos

Se utiliza como una extensión del balance de agua, o en algunos casos como método para la detección de fugas. El objetivo es determinar si una zona de abastecimiento de agua tiene fugas. Para tener una aplicación exitosa, se debe contar con planos actualizados de la red que se requiere revisar, también conocer la ubicación de las válvulas en los puntos de control y proporcionar una toma para la colocación del equipo de medición. La técnica de distritos pitométricos, consiste básicamente en aislar sectores de la red donde se realizan mediciones de volúmenes abastecidos y consumidos por los usuarios en cada sector, como mínimo durante un periodo de 24 horas.

Este método se aplica en cinco pasos:

- Aislar el sector utilizando las válvulas de los cruceros que limitan el distrito pitométrico
- El volumen que entra al distrito se debe medir durante 24 horas y a cada diez minutos, para dibujar una gráfica en donde se relaciona el gasto suministrado contra el tiempo
- Con ayuda de la gráfica se calculan los indicadores siguientes:

Siglas	Nombre	Como se calcula	Unidades
CT	Consumo total en 24 horas		[m ³ /h]
CHP	Consumo horario promedio	$CHP = \frac{CT}{24 \text{ horas}}$	[m ³ /h]
CHM	Consumo horario máximo	De la gráfica se selecciona el máximo gasto de entrada y se multiplica por 3.6 para convertir de l/s a m ³ /h	[m ³ /h]
CMN	Consumo mínimo nocturno	De la gráfica se toma el gasto mínimo entre las 0:00 y las 5:00 h luego se multiplica por 3.6 para convertir de l/s a m ³ /h	[m ³ /h]
ICHM	Índice de consumo horario máximo	$ICHM = \frac{CHM}{CHP}$	Adimensional
ICMN	Índice de consumo mínimo nocturno	$ICMN = \frac{CMN}{CHP}$	Adimensional
CEP	Consumo específico promedio	$CEP = \frac{CHP}{3.6}$	[l/s/km]

El CEP se define como el consumo horario promedio en l/s por cada kilómetro de tubería.

- Con los resultados obtenidos se analizan los índices y determinan los niveles aproximados y la posibilidad de fugas en el distrito

Si el ICHM es superior a 1.5 indica una gran variación en el consumo. Si el sistema es operado por bombeo es recomendable construir tanques de regulación para ahorrar energía en el mismo

Si ICMN es mayor que 0.2 pero menor de 1.5, se tiene un gran número de fugas y es necesario que se haga un estudio detallado de la zona, por ejemplo, con detectores electroacústicos

Cuando se tienen grandes consumidores de agua como son, por ejemplo, las fábricas de hielo, embotelladoras y hoteles, al consumo mínimo nocturno se le debe restar el consumo de éstos usuarios entre las 0:00 y las 5:00 horas de medición ya que en este tiempo no hay un consumo importante, con esto se obtiene el consumo nocturno doméstico (ICONOD)

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

donde

cmn consumo mínimo nocturno de los grandes usuarios, en [m³/h]

chp consumo horario promedio de los grandes usuarios, en [m³/h]

Con el índice anterior se elimina la influencia de los grandes consumidores en el índice ICMN, esto se considera mucho más confiable para hacer la detección de fugas

Si el valor del índice ICONOD es mayor a 20, se recomienda una inspección minuciosa para la búsqueda de fugas

- Para hacer una localización más detallada de las fugas, es conveniente seccionar el distrito pitométrico en una subdivisión nocturna, esta consiste en operar las válvulas internas, y hacer la medición de los consumos mínimos nocturnos de cada segmento. El periodo nocturno se refiere al intervalo de las 0:00 a las 5:00 horas del día.

Con ayuda de un plano de la red se ubicarán las válvulas que se cerrarán y a su vez hacer un plan de orden y tiempos en que se harán los movimientos. El análisis se hará comparando el consumo mínimo específico límite nocturno (CEL) de todo el distrito contra el consumo nocturno de cada subsector (CEN).

CEL consumo específico límite nocturno de todo el distrito, en [m³/noche]

$$\text{CEL} = \frac{E(\text{CMN})}{L}$$

donde

L longitud total de la red principal y secundaria, en km

E porcentaje esperado de entrega a los usuarios

$$E = \left[\frac{(\text{CM} - p)}{\text{CM}} \right] 100$$

donde

p pérdida de agua por fugas estimada previamente, en [m³/noche]

Cuando no hay almacenamiento domiciliario se puede considerar $E = 0.7$

El consumo mínimo específico nocturno de cada subsector se calcula de la manera siguiente:

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

donde

CN consumo nocturno del subsector entre las 0:00 y las 5:00 horas, en $[m^3/\text{noche}]$

l longitud del subsector, en km

Si CEL mayor que CEN entonces hay un consumo alto en el subdistrito, por tanto hay una posible fuga y se tiene que localizar.

2.3 Detección de fugas por sonido

Para la detección de fugas por sonido se utilizan aparatos electrónicos equipados con audífonos o pantallas donde se visualizan las diferencias de intensidad de los ruidos. Cuando el agua es forzada a salir por un orificio de la tubería ésta produce una pérdida de energía en los alrededores del tubo y del suelo, parte de la energía se transforma en ondas sonoras que se pueden captar con aparatos electrónicos, y en algunos casos con dispositivos mecánicos. Las ondas de sonido son evaluadas para determinar donde se encuentra la fuga.

Hay varios tipos del sonido emitido por una fuga, pero únicamente interesan tres de ellas, uno se encuentra en el rango de 500 a 800 Hz, y es producido por la vibración del orificio en la pared del tubo, este sonido se puede escuchar a grandes distancias ya que viaja a través de las paredes de la tubería; el segundo es causado por el impacto del agua de fuga contra el suelo; el último es muy parecido al ruido que proviene de una fuente y se debe al agua que circula en la cavidad del suelo cerca de donde está la fuga. Los dos últimos se encuentran en el rango de 20 a 250 Hz.

También existen varios factores que afectan el sonido de las fugas, a continuación se mencionan algunos:

- a) *Presión.*- Las presiones menores a 1 kg/cm^2 dificultan la localización de las fugas, ya que la onda sonora no se propaga con claridad a lo largo de la tubería.
- b) *Tamaño y material del tubo.*- En las tuberías de hierro es más fácil la detección de fugas, debido a que este material conduce mejor el sonido, a diferencia de el asbesto-cemento, PVC y concreto en donde el sonido es poco intenso, por lo

que en este tipo de materiales la localización se hace sólo a distancias muy cercanas a la fuga.

c) *Tipo de suelo.*- La arcilla se ha caracterizado por no ser una buena conductora del sonido de la fuga; lo contrario ocurre cuando se tiene arena.

d) *Tipo de superficie.*- A continuación se mencionan los diferentes tipos de superficie; de mejor a deficiente conductor de sonido:

- ❖ Carpeta de concreto hidráulico
- ❖ Carpeta de concreto asfáltico
- ❖ Terracería
- ❖ Superficie con hierba o pasto

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

- ❖ Terreno duro
- ❖ Terreno fangoso
- ❖ Terreno con cantos rodados

f) *Tipo de fuga.*- Las fugas pequeñas generan ruidos de alta frecuencia por lo que se consideran ruidos agudos, los graves son de baja frecuencia y los ocasionan las fugas grandes, como las que se presentan en tuberías rotas.

g) *Accesorios y otros ruidos.*- Los accesorios pueden llegar a confundir al personal encargado de localizar fugas, en el caso de que no sea una persona con experiencia en campo la que realice la detección.

h) *Profundidad de la tubería.*- El sonido puede variar de intensidad de acuerdo con la profundidad, por lo que es recomendable que se tenga un plano actualizado de la red así como los diferentes reportes, para poder identificar más rápidamente la fuga de agua.

3. CORRELADORES

Este equipo ayuda a localizar las fugas en las redes de agua potable gracias a que estas producen ruidos con diferentes frecuencias de audición, y con ello se sabe que tipo de fuga se tiene (ruptura de tubería o solamente fisura de la misma); este dispositivo es muy fácil de operar, ya que no se necesita de cursos avanzados, para poder manejarlo y obtener resultados confiables .

3.1 Sonido

Para que se genere una onda sonora es necesario que exista una perturbación o vibración en algún medio; por ejemplo, el aplaudir o el chirriar de las llantas en una frenada fuerte; bajo el agua también podemos escuchar sonidos como por ejemplo, al chocar dos piedras debajo del agua.

3.1.1 Fundamentos

El sonido tal como se percibe habitualmente, es el resultado de pequeñas variaciones de presión atmosférica que se producen con gran rapidez. Estas variaciones se propagan en el aire en forma de una onda sonora a una velocidad promedio de 345 m/s. La velocidad de propagación en el aire varía con respecto a la temperatura del mismo.

Las dos características básicas de las ondas son su amplitud y su frecuencia. La frecuencia da una idea de la rapidez con que se producen las variaciones de presión. Así, por ejemplo, si se habla de una frecuencia de 1000 Hz [1/s], se dice

que produce 1000 variaciones de presión por segundo, para saber si estas variaciones son grandes o pequeñas es necesario conocer su amplitud. Si la amplitud es grande se oirá un sonido fuerte, si por el contrario es pequeña se oirá un sonido flojo (suave).

El comportamiento de una onda sonora cuando choca con un obstáculo depende de su frecuencia, para aclarar esto se introducirá el concepto de longitud de onda (λ), que se define como el espacio necesario para que una onda realice un ciclo completo. Es decir, esto se interpreta como la distancia necesaria para que la presión aumente ligeramente por encima del valor de la presión atmosférica y disminuya ligeramente hasta un valor menor al de la presión atmosférica y aumente nuevamente. El número de veces que se repite el ciclo en un segundo es la frecuencia de la onda (Hz).

$$\lambda = \frac{\text{velocidad de propagación}}{\text{frecuencia}} = \frac{V}{f} \text{ [m]}$$

Las ondas sonoras son de tipo longitudinal y se pueden propagar en diferentes medios como son los líquidos, sólidos y gases. El oído humano sólo puede detectar las ondas sonoras que se encuentran entre 20 Hz y 20 kHz, a este intervalo de frecuencia se le denomina *región audible*, las frecuencias que se encuentran por debajo de 20 Hz se dice que están en la región *infrasónica* y si se encuentran por arriba de 20 kHz se encuentran en la región *ultrasónica*, estas últimas pueden generarse por vibraciones de alta frecuencia en cristales.

La rapidez con la que se mueve el sonido a través de un medio depende de la elasticidad del medio así como de su densidad. Por ejemplo, la rapidez de una onda en un resorte tenso esta dada por $V = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$, donde F es la tensión de la cuerda y μ es la densidad lineal de la masa. Expresiones similares determinan la velocidad en los líquidos y en los sólidos:

$$\text{Sólidos} \quad V = \sqrt{\frac{Y}{\bar{n}}} \text{ [m/s]}$$

$$\text{Líquidos} \quad V = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \text{ [m/s]}$$

donde Y es el módulo de Young; B módulo de volumen; ρ densidad

El módulo de Young o de elasticidad es la relación entre el esfuerzo de tensión y la deformación producida por él; el módulo de volumen (B) es la relación entre la presión ejercida sobre un cuerpo y el cambio de volumen que experimenta el mismo. Ambas tienen las unidades de presión [kg/cm²] ó [Pa] (Pascuales).

Los sólidos son más elásticos que los líquidos y estos a su vez más que los gases, un material muy elástico propaga las perturbaciones con mayor facilidad a diferencia de uno menos elástico, por ello los sólidos son mejores conductores del sonido que los líquidos y estos a su vez mejores que los gases. La rapidez del sonido también varía con la temperatura, es decir a mayor temperatura mejor propagación del sonido ya que el medio se vuelve más elástico; para temperaturas normales en el medio ambiente la rapidez de propagación aumenta en promedio 0.6 m/s por cada grado Celsius arriba de 0 °C, por tanto

$$V = 331 \sqrt{1 + \frac{T_c}{273}} \quad [m/s]$$

con la expresión anterior se calcula la velocidad del sonido en el medio aire a una temperatura mayor de 0°C; donde T_c es la temperatura a la que se quiere saber la velocidad de propagación del sonido.

En la tabla 1 se presentan algunas velocidades del sonido para diferentes medios.

3.1.2 Variación de presión en una onda sonora

La onda sonora engendra una vibración de las partículas de aire delante del tímpano, esta puede considerarse que fue debida a variaciones en la presión del aire; es decir, cuando la presión del aire se eleva por arriba de la presión atmosférica, transcurrido una fracción de tiempo se hace inferior, siguiendo un movimiento armónico simple. Cuando la presión del aire es mayor a la atmosférica se denomina *amplitud de los cambios de presión* y es proporcional a la amplitud de la distancia que separa al móvil vibrante del punto de equilibrio, a esta separación se le llama elongación.

3.1.3 Intensidad

Desde un punto de vista geométrico lo que se propaga en un movimiento ondulatorio es la *forma de la onda*, sin embargo, desde un punto de vista físico, también lo hace la energía. La intensidad [w/cm^2] de una onda que se propaga se define como "la cantidad media de energía transportada por la onda por unidad de tiempo", más brevemente la intensidad es la potencia media transportada por unidad de área, por tanto

$$I = \frac{p^2}{2\rho u}$$

donde p es la amplitud de los cambios de presión, ρ la densidad media del aire y u la velocidad de la onda sonora.

Tabla 1 Valores típicos de velocidad del sonido para diferentes medios

Medio	Rapidez (m/s)
Sólidos	
Aluminio	5100
Cobre	3500
Hierro	4500
Vidrio	5200
Poliestireno	1850
Acero inoxidable	5790
Vidrio pyrex	5640
Latón	4700
Lucita (acrílico)	2680
Caucho	1600
Líquidos	
Alcohol etílico	1125
Mercurio	1400
Agua	1500
Agua destilada	1497
Agua de mar	1531
Glicerina	1904
Querosina	1324
Aguarras	1255
Metanol	1103
Gases	
Aire (0°C)	331
Aire (50°C)	361
Aire (100°C)	387
Helio (0°C)	965
Hidrógeno (0°C)	1284
Oxígeno (0°C)	316

3.1.4 Nivel de intensidad y sonoridad

Debido a la gran amplitud del intervalo de intensidades a las que es sensible el oído es mejor utilizar para representarlo una escala logarítmica que una natural, por lo que el nivel de intensidad se expresa

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

donde I_0 es una intensidad arbitraria de referencia y es igual a 10^{-16} w/cm², esta corresponde al sonido más bajo que puede ser audible. El nivel de intensidad se

mide en decibeles [db]. La intensidad máxima que el oído humano puede tolerar es de 120 db.

El término sonoridad se reserva para la sensación, ya que no puede ser medido con aparatos físicos, pero se puede tener una escala numérica para evaluar la sonoridad; si aumenta la intensidad, esto origina un incremento de la sensación sonora (sonoridad), esta no es proporcional a la intensidad. La sonoridad es aproximadamente igual al logaritmo de la intensidad (nivel de intensidad).

3.1.5 Efecto Doppler

Cuando un foco sonoro, un observador o ambos, están en movimiento respecto al aire, el tono percibido por el observador no es, en general, el mismo que cuando el foco y el observador están en reposo. El ejemplo más conocido es el descenso brusco de tono de sonido emitido por la bocina de un automóvil que tiene lugar justamente cuando se encuentra con un coche que avanza en sentido opuesto. Este fenómeno es conocido con el nombre de *Efecto Doppler*.

3.1.6 Aplicaciones

A diferencia del hombre algunos animales, como los perros, si pueden detectar frecuencias ultrasónicas, que con un silbato ultrasónico los pueden llamar sin afectar el silencio de los demás. La aplicación de las ondas ultrasónicas se ve en la colocación de un silbato de forma cónica colocado en los automóviles que cuando viajan a una cierta velocidad genera ondas ultrasónicas y la intención es la de asustar a los animales de las carreteras ya que estas ondas viajan a mayor velocidad y puedan ser escuchadas por los mismos.

El sonar es la contra parte del ultrasonido del radar, ya que él utiliza pulsos de sonido que se reflejan en los objetos bajo el agua y con un detector se capta el eco resultante, el tiempo requerido para que un pulso haga su viaje redondo con la rapidez del sonido en el agua, proporciona la distancia al objeto reflejante.

En diferentes disciplinas se ha usado al sonido como técnica de medición, como por ejemplo:

- ❖ En resistencia de materiales: estudio no destructivo de los materiales, para averiguar la constante elástica, el amortiguamiento, la fatiga y los defectos de los mismos; emisión acústica, para detectar las fisuras, estudiar su posible propagación y prever la rotura de las pieza mecánicas cuando son expuestas a presiones físicas.
- ❖ En Geología: localización de yacimientos de minerales por medio de técnicas basadas en el sonar, muy empleada para detectar petróleo; estudio cualitativo de las rocas, en proyectos de construcción; estratigrafía.
- ❖ En sismología: estudio de los fenómenos físicos infrasonoros; posibilidad de prever los grandes terremotos.

- ❖ En medicina: métodos de observación que no presentan el peligro inherente a las radiaciones electromagnéticas, en especial a los rayos X.
- ❖ En marina: técnicas de sonar, que permiten la localización de objetos submarinos.
- ❖ En hidráulica sanitaria para la detección de fugas de agua en las redes de abastecimiento de las poblaciones.

3.2 Principios de funcionamiento y limitaciones

Cuando una tubería conduce un líquido a presión y éste escapa de la misma producirá un ruido (*llamada Onda Acústica de Presión*), dicho ruido se transmitirá a través de la tubería a una determinada velocidad, que depende del tipo de material y diámetro de la tubería, así como del líquido que transporta.

Si el punto de fuga estuviera exactamente a la mitad de un tramo de tubería, esto es, entre dos válvulas, el tiempo en que tardaría el sonido en escucharse en uno de los extremos sería igual al tiempo que tardaría en el otro.

Para entender mejor esto se utilizará en la figura 3.1, en la cual se muestra un tramo de tubería en una red de agua potable, ésta se delimitará por las válvulas que se encuentran en sus extremos.

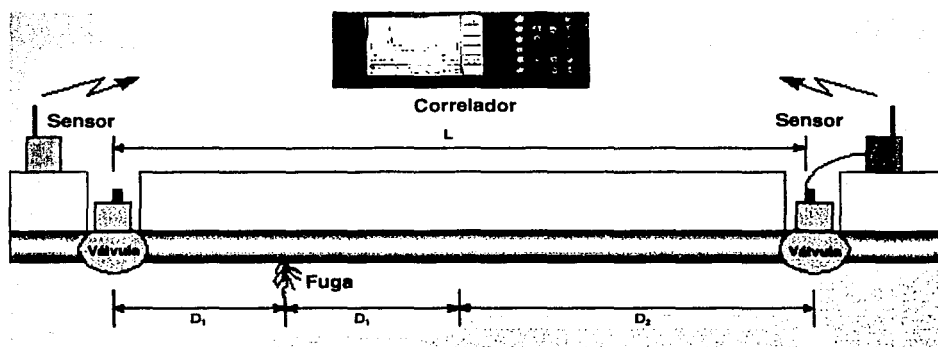


Figura 3.1 Colocación de correlador y sensores

Para detectar mejor el ruido de la fuga se instalan dos sensores, los cuales se colocan en los extremos del tramo unidos a la tubería (en las válvulas para nuestro caso) estos detectan el sonido y lo envían a la unidad central (donde se ejecuta la acción de correlar) vía radio o conexión con cable.

En la figura se muestra a la fuga más cerca del sensor azul, por lo que la onda del ruido de la fuga llegará primero a este sensor mientras el correlador mide el tiempo exacto de recorrido. En ese preciso instante, la onda de ruido de la fuga ha viajado también una distancia D_1 hacia el sensor rojo.

El correlador determina ahora el tiempo que tarda la onda de ruido de la fuga en recorrer una distancia adicional D_2 hasta alcanzar el sensor rojo. Este tiempo de viaje adicional crea una diferencia de tiempo entre la llegada de las señales a los sensores azul y rojo. A esta diferencia de tiempos se llama T_r .

Como la velocidad del sonido V es conocida para ciertos líquidos y tipos de tubería, ahora podemos determinar la distancia entre la fuga y el sensor azul aplicando la ecuación siguiente:

$$L = 2D_1 + D_2$$

de las fórmulas de física elemental se tiene que la velocidad es igual a distancia sobre tiempo ($V = \frac{d}{t}$) por lo que $d = V(t)$

si se considera que

V velocidad de propagación del sonido a través del conjunto agua - tubo
 T_r diferencia de tiempo que invierte el sonido en llegar al sensor más alejado

entonces

$$D_2 = V(T_r)$$

por lo que

$$L = 2D_1 + V(T_r)$$

despejando a D_1 de la ecuación anterior se tiene

$$D_1 = \frac{L - V(T_r)}{2}$$

Sin embargo, con el uso del correlador acústico, no es necesario realizar cálculo alguno, puesto que ya lo trae integrado en el paquete y es cuestión de interpretar la gráfica que aparece en la pantalla para ubicar correctamente el cursor en el punto exacto de la fuga.

Una vez definido el punto de fuga, se genera un archivo en la memoria del correlador el cual posteriormente se puede recuperar en pantalla o imprimir para análisis de la gráfica, ver figura 3.2.

Los correladores acústicos son una herramienta muy útil siempre y cuando se conozca el diámetro y tipo de material de la tubería, así como que haya acceso a la tubería a través de algún accesorio como son válvulas, hidrantes o tomas domiciliarias.

Para instalar los sensores es necesario, en algunos casos, hacer una o varias excavaciones las cuales si no se hacen en el lugar adecuado resultaría un trabajo poco útil y aumentaría considerablemente el costo del estudio. Por lo anterior, el correlador tiene sus ventajas, éste es confiable para profundidades mayores de 1.5 m, también se puede utilizar en zonas donde hay mucho tránsito o en terrenos muy escarpados.

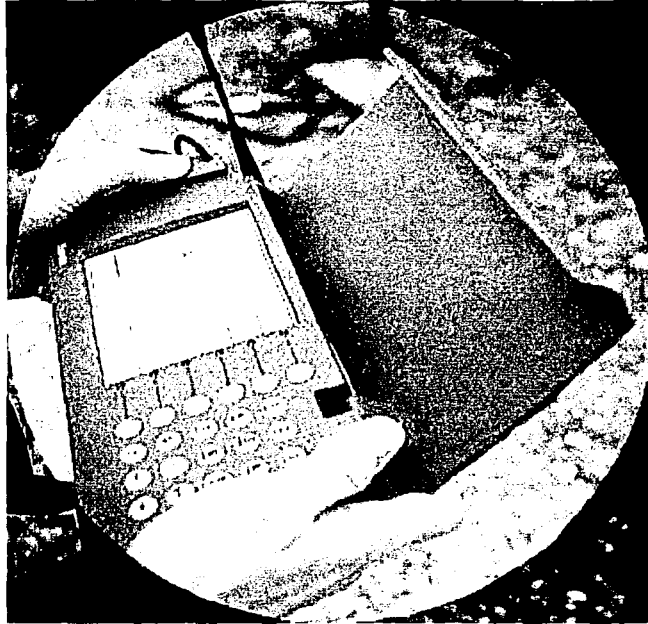


Figura 3.2 Gráfica de ruido de la fuga en un correlador

También se pueden pasar a una computadora y recuperar las gráficas por medio de un paquete compatible con el ambiente windows, para un mejor manejo de la información, ver figura 3.3.

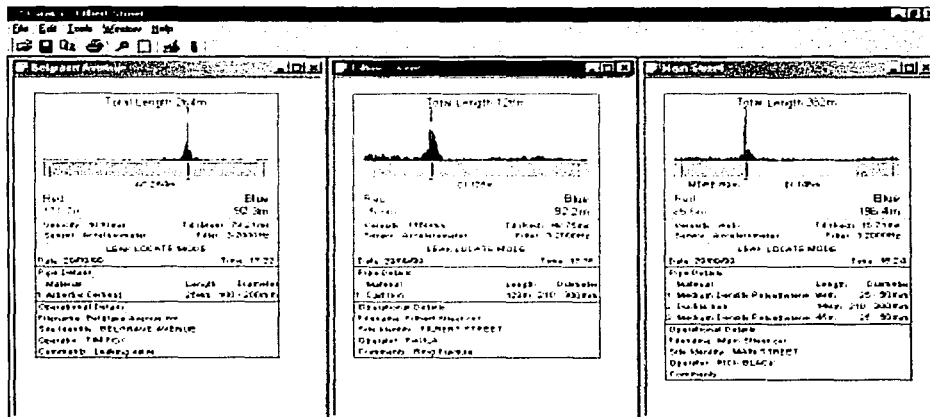


Figura 3.3 Recuperación de gráficas en una computadora

3.2.1 Principios del registro de datos sincronizados de Corralog

La mayoría de los correladores de ruidos de fugas se basan en un principio: recopilar simultáneamente señales de ruidos de fugas de dos fuentes independientes, situadas a ambos lados de la fuga y a una distancia determinada. Los equipos convencionales utilizan la radiotecnología para transmitir los ruidos de las fugas desde estas fuentes remotas hasta una unidad receptora, es un proceso que se lleva a cabo en tiempo real; es decir, sin tiempo de propagación. La unidad receptora utiliza una fuente común de sincronía para tomar muestras sincronizadas de las señales de ruido de fugas. Mediante esta técnica, se garantiza que no se introduzcan tiempos de propagación en el sistema a través del proceso de muestreo.

Corralog se basa en la transmisión en tiempo real de las señales de ruido de fuga, éste sistema utiliza dos fuentes de sincronía muy precisas y estables que realiza simultáneamente la actividad de muestreo de datos de las unidades independientes de registro. Se sincronizan las fuentes de sincronía antes de utilizarlas y deben mantenerse así durante el registro de datos. La correlación comienza una vez que se haya finalizado el registro de datos y el registro extremo haya transferido sus datos a la unidad de l correlador.

3.2.2 Audición acústica

La electrónica altamente sensible de Corralog permite al operador utilizar un sensor de "pie" de escucha para localizar el lugar exacto de la fuga y comenzar así la excavación. Cuando se localiza una fuga, entra en juego un proceso que consiste en comparar las medidas de ruidos de la fuga realizados a lo largo de la tubería.

La audición se lleva a cabo a lo largo de la tubería, a intervalos regulares, con el fin de identificar el lugar en el que la señal de ruido de la fuga es más alta.

3.2.3 Procedimiento básico de funcionamiento

a) Correlación

1. Del menú principal, seleccione la opción "Inspección de Fuga"
2. Introduzca los parámetros (tipo de material, diámetro y longitud entre sensores) de la tubería que desea inspeccionar
3. Programe el registrador con los parámetros (tipo de material, diámetro y longitud entre sensores) de inspección de la fuga
4. Coloque el registrador y el sensor en el primer punto de acceso a la tubería
5. Coloque el correlador y el otro sensor en el segundo punto de acceso a la tubería
6. Espere un momento hasta que el registro de datos finalice
7. Retroceda con el correlador a la posición del registrador y vuelva a juntar las unidades
8. Descargue del registrador los datos de la muestra
9. Visualice el resultado de la correlación
10. Guarde el resultado de la correlación, si éste resultó preciso

b) Escucha de ruido

1. Conecte el sensor y los auriculares a la unidad del correlador
2. Del menú principal seleccione la opción "Nivel de Ruido"
3. Ajuste, si fuera necesario, el filtro y el volumen de los auriculares
4. Observe donde se da el nivel de señal más largo
5. Retroceda e indique el lugar en el que la señal de nivel es más alta

3.2.4 Menú de navegación y entrada de datos

El correlador de Corralog funciona gracias a una lista de programas que dirige la interfase del usuario. La pantalla presenta un menú, de la cual el operador selecciona una opción.

En la mayoría de los menús, el operador tiene que pulsar una tecla numérica para lo que ha de realizar la opción de video inverso ver figura 3.4, esta regla presenta algunas excepciones, por ejemplo, una velocidad de sonido conocida en la que los datos numéricos han de introducirse directamente a través del teclado numérico.

Los números escritos pasan del lado derecho del campo numérico al lado izquierdo cuando se introduce un número, éste aparecerá a la derecha de cualquiera de los dígitos ya escritos, que se irán desplazando hacia la izquierda para hacer un hueco a este nuevo dígito. Por ejemplo, la secuencia que se obtiene al introducir los datos numéricos 264 m/s es la siguiente:

Tecla pulsada	Texto que se visualiza
2	2
6	26
4	264

Si desea corregir los dígitos, desplace un bloque en sentido inverso hacia el número pertinente con las teclas flecha. El nuevo dígito se sitúa en el lugar del bloque resaltado en negro éste último desaparece.

Por ejemplo, si se introduce el número 1234 y se desea cambiar a una velocidad de 1254 m/s:

Tecla pulsada	Texto que se visualiza
	1234
←	1234
←	1234
5	1254

3.2.5 Menú principal

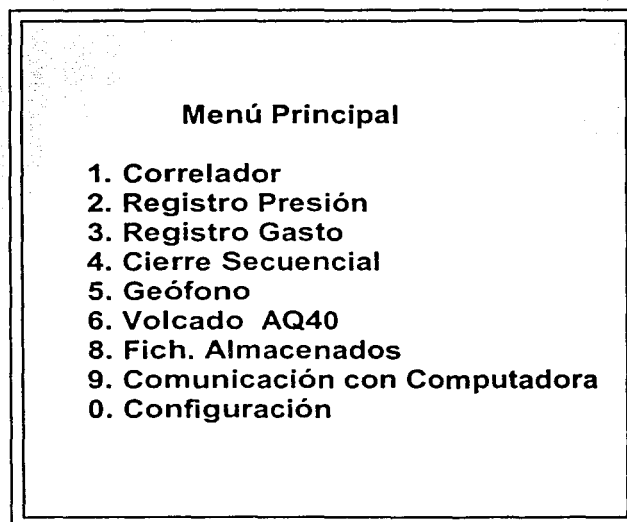


Figura 3.4 Menú Principal

El menú principal es el primero que ve el operador después de que en la pantalla aparece el título. A partir de este menú el operador selecciona una actividad de entre las siete opciones disponibles.

El menú se divide en dos secciones básicas:

- a. Funciones de la inspección
 1. INSPECCIÓN DE FUGA
 2. REGISTRADOR DE PRESIÓN
 3. REGISTRADOR DE GASTO
 4. VERIFICADOR DE PASOS
 5. NIVEL DE RUIDO

- b. Procedimiento posterior e instalación del sistema
 6. LLAMADA DE DATOS
 7. INSTALACIÓN

3.3 Casos generales y particulares

Una vez ubicado el sitio donde se va a realizar la inspección se puede iniciar el armado del equipo y comenzar a operar inmediatamente, es decir que no es necesario ambientarse, como sucede con algunos detectores de metales, pero si se debe revisar que exista la presión adecuada en la red que se va a estudiar, esto se hace para evitar el traslado del equipo ya armado en longitudes grandes y terrenos accidentados.

Verificada la presión en la red se procede al armado del correlador y se localizan los puntos apropiados para instalar los sensores (micrófonos de contacto, ver figura 3.5), asegurando una buena captación del sonido que se genera en el conjunto agua-tubo. Ubicados estos sensores se calibra la sensibilidad de la señal recibida y se selecciona la forma de transmisión de la señal de cada uno de los dos radios transmisores, mientras que simultáneamente se mide la longitud de tubería que se esta revisando.

Los correladores no se pueden utilizar en las avenidas por donde hay mucha circulación de vehículos y tampoco en horas hábiles ya que se encuentran muchos ruidos externos y afectarían la interpretación de los registros en la pantalla del correlador, por lo que se recomienda que se usen por las noches con ayuda de la seguridad pública local así como instalando señalamientos adecuados.



Figura 3.5 Micrófonos de contacto

Los datos que se deben proporcionar a la unidad correladora son los siguientes

Longitud de separación entre los sensores
Material y diámetro de la tubería

Con estos datos el filtro de señal se ajusta automáticamente; sin embargo, también se puede ajustar manualmente cuando así lo requiera el operador, siempre y cuando éste tenga experiencia en el manejo del equipo.

En México no es muy recomendable su uso ya que en muchas ocasiones no se dispone de la información adecuada de la red que se pretende revisar.

En la tabla 2 se presenta un programa para la revisión de las redes, así como de la detección de las fugas en las mismas.

Tabla 2 Proceso para la detección de fugas

Proceso típico para la detección de fugas e instrumentos necesarios	
Proceso de detección de fugas de agua	Contenido principal
Delimitación de área y políticas de operación	1.-Revisar el plano de la red
	2.-Dividir el área en circuitos
	3.-Hacer lista de políticas de operación
Investigación preliminar de la red	1.- Revisar cada unión basándose en el plano de la red
	2.-Confirmar la localización exacta de cada unión en el plano
	3.- Investigar las condiciones alrededor del sitio
Inspección acústica en las uniones de las tuberías	1.-Hacer la inspección acústica en todas las uniones como toma de bomberos, válvulas de control y de cierre
	2.-Localizar válvulas enterradas y excavar para inspeccionar
Medir en la noche cuando se tiene el flujo mínimo	1.-Cerrar todas la válvulas de la cuadra que estén dentro del área de detección de fuga
	2.-Realizar la medición en la noche con flujo mínimo en la red
Detección acústica de fugas en tuberías enterradas.	Una brigada consiste en dos personas para detectar fugas en tuberías enterradas, longitud de 3.5 km por jornada de 8 horas (Noche)
Detección de fugas con el ruido de correlador.	1.-Dos operadores para detección de fugas en el día 5 km por jornada de 8 horas (Día)
Confirmar el punto exacto de la fuga desde la superficie	1.- Localizar las áreas de fuga en el plano de la red
	2.- Localizar el punto exacto de máximo ruido de la fuga en la superficie
	3.- Hacer perforaciones para determinar el punto de fuga con varilla acústica*
Preparar el reporte indicando la localización de cada fuga	Indicar claramente la localización de la fuga mencionando el nombre de la calle frente al número de casa
Repetir nuevamente la medición en la noche	Después de reparar las fugas, medir nuevamente en la noche para revisar que han desaparecido las fugas

* La varilla acústica es una accesorio con que cuentan los correladores; se entierra la punta de esta en el terreno y da una lectura de si existe fuga cercana o no.

3.4 Presentación de diferentes marcas de correladores

En este subcapítulo se mencionarán algunas de las diferentes marcas que están disponibles en el mercado.

3.4.1 Lokal 100

El Lokal 100 es un instrumento que presenta la tecnología más avanzada de DSP (Procesamiento digital de la señal), para la individualización y localización de pérdidas en tuberías enterradas.

El Lokal 100 utiliza la técnica de medida de la Cross-Correlación (correlación cruzada), y de la función de coherencia, para señalar y localizar eventuales pérdidas.

La utilización de la función Coherencia, más allá de la tradicional Correlación, consiste en incrementar notablemente la confiabilidad de la medida efectuada, reduciendo la posibilidad de errores.

La empresa cuenta con correladores montados en camionetas especiales para la detección y localización de fugas, ver figura 3.6. Su núcleo principal, es una computadora, por lo que el proceso de trabajo y la velocidad de respuesta, es de mayor precisión y los resultados se presentan en forma gráfica, ver figura 3.7.

Al utilizar una computadora, se puede instalar en ella cualquier programa. El equipo se entrega con MS-Dos, y Windows 3.11, el software del correlador y un software para realizar los informes de fuga.



Figura 3.6 Vista interior de una camioneta equipada con LOKAL 100 para la búsqueda de fugas

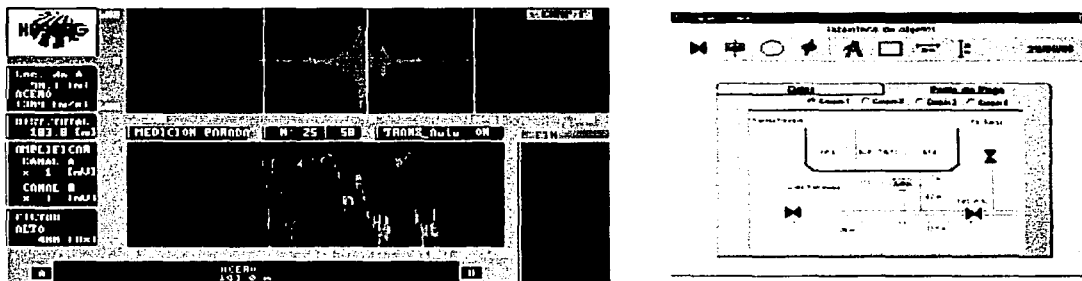


Figura 3.7 Presentación de señales del LOKAL 100

Por otra parte, el equipo cuenta con filtros digitales, y una opción para que mida solo cuando los ruidos exteriores, no perjudiquen a los resultados. Los sensores de que dispone, se utilizan para todo tipo de materiales, y se puede hacer una inspección directa desde el sensor o desde la camioneta.

El correlador dispone de conexiones en serie y paralelo, un mouse (ratón), e impresora.

Los vehículos, cuentan con todo lo necesario para realizar los trabajos confiablemente. Se lleva desde una oficina móvil hasta las herramientas necesarias distribuidas, colocadas en compartimentos especiales en la parte posterior.

3.4.2 Lokal 200

Este correlador capta la señal y la amplifica y es transmitida por vía radio al correlador donde se hace el cálculo interno y en pantalla despliega la fuga gráficamente, ver figura 3.8.



Figura 3.8 Modelo LOKAL-200

Este modelo por su tamaño compacto es de fácil transportación, y a la vez cuenta con pilas recargables, y la conexión a una impresora para el análisis de los datos medidos en campo.

3.4.3 Lokal 300 El Lokal 300, ver figura 3.9, se ha fabricado para que pueda usarlo cualquier persona que no haya buscado nunca una fuga de agua, ya que es muy simple de usar. También puede ser utilizado como correlador o como geófono.

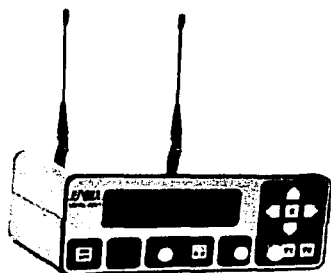


Figura 3.9 Correlador LOKAL 300

a) Correlador

El Lokal 300, realiza una correlación en tiempo real, presentando un gráfico en la pantalla, y marcando un pico en el caso de encontrar una fuga. Se pueden colocar 1 ó 2 sensores (A y B) para realizar una correlación.

b) Geófono

Lokal300, tiene la posibilidad de utilizarse como geófono, en dos funciones:

- Sonda de bastón Para realizar medidas en contacto con la tubería, como válvulas, hidrantes, etc.
- Sonda campana Para medir sobre tuberías enterradas.

3.4.4 Detector acústico OMIKRON

El detector acústico de fugas de superficie (OMIKRON) está diseñado para localizar el sonido generado por las fugas de agua en redes de abastecimiento de agua potable por medio de un sensor en forma de una varilla que al ponerse en contacto con algún elemento físico de la red este se propaga hacia la superficie a través del suelo que existe entre la conducción y la superficie, ver figura 3.10.



Figura 3.10 Utilización de detector OMIKRON

3.4.5 Detector acústico PHOCUS

El modelo PHOCUS es un sistema de prelocalización de las fugas, consta de seis sensores que se disponen de tal manera que se divide la red en secciones y se mide durante varias horas el ruido existente en el tramo estudiado. Después se vacían los datos en una computadora que contiene un paquete que analizará los datos de los sensores y permitirá la prelocalización de los posibles puntos de fuga, el equipo se muestra en la figura 3.11.

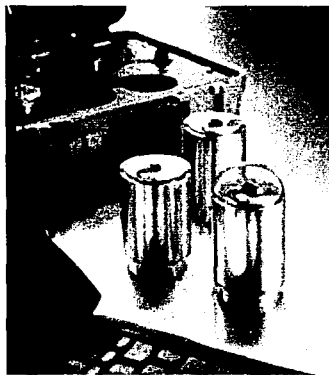


Figura 3.11 Sensores del modelo Phocus

3.4.6 Data-logger

Es una nueva manera de detectar las fugas en la red de agua con muchas ventajas sobre los otros sistemas de localización.

Los data-logger ver figura 3.12, son unos sensores acústicos de pequeñas dimensiones que se limitan a medir cualquier ruido, se colocan en cualquier punto de la red como son los hidrantes, válvulas, etc, y lo único indispensable es que el sensor este en contacto directo con el tubo.



Figura 3.12 DATA-LOGGER

a) Función y modo de uso

Los data-logger se programan con todos los datos necesarios y se colocan cada uno en un punto de la red con un alcance medio de 150 m a la redonda. Se puede indicar el día y la hora en que interesa medir, ya que cuentan con un programa de computadora (se tiene calculado que el mejor horario es de las 2:00 a 4:00 de la madrugada, horario en el cual se tienen menos consumos y otros ruidos).

Los días aconsejables para medir son de lunes a viernes para poder verificar si el data-logger toma todos los días el mismo "rumor", que se podría considerar que es el de una fuga.

b) Principales características

El data-logger hace 150 medidas cada hora, de una a dos horas diarias, lo cual es necesario para detectar si se ha encontrado una fuga.

No es necesario programarlos y cambiarlos cada día, ya que se puede poner el número de días que se desee.

Los data-logger están numerados, de esta manera se puede marcar en el plano y saber con ello cual es la zona que esta perdiendo agua.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

c) Sistema DATA LOGGER

El medidor de frecuencia acústica AZ está en condiciones de medir automáticamente de noche los niveles de un ruido, memorizar los datos y procesarlos. El AZ está compuesto por datos transmitidos desde el microprocesador y un micrófono especial.

La medición de los ruidos se hace con ayuda de un registro de vibraciones incorporado en el equipo.

Los sensores se colocan en el hidrante o las válvulas con una distancia media de 100/250 metros, según sea la estructura de la red de distribución.

En la noche, por tener tanto un menor consumo de agua como una reducción del tráfico automovilístico, pueden ser registrados 1000 valores. Los datos almacenados se analizan y procesan en cualquier momento, y con ello determinar la posible presencia de al menos una fuga.

El AZ está diseñado para poder cubrir grandes zonas de terreno. Los resultados de las mediciones se pueden presentar en forma gráfica.

d) Ventajas

Posibilidad de medir en la noche para evitar ruidos provenientes tráfico, consumos, etc, sin necesidad de desplazarse en la noche, posibilidad de hacer un estudio de la red de agua conociendo que zonas pueden estar perdiendo agua sin necesidad de controlar punto por punto a la zona.

3.4.7 MicroCorr 6

El MicroCorr 6, ver figura 3.13 es un sistema de alta velocidad para localización de fugas, usando para ello técnicas de correlación acústica para situar el punto de fuga en una tubería.

La unidad central del MicroCorr 6 localiza la fuga por medio del ruido que esta produce y midiendo la velocidad de propagación de este a través del tubo, esta información se almacena en una computadora o se imprimen en papel.

Se suministran dos sensores, los que se pegan magnéticamente en los extremos del tubo (por ejemplo válvulas), estos detectan el ruido producido por la fuga, que viaja a través de la tubería.

El operador puede ver las pantallas anteriores utilizando un teclado. Los datos que se observan en la pantalla de cristal líquido, se pueden visualizar simultáneamente en un monitor.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

Los radiotransmisores son conectados a los sensores remotos por medio de un cable corto, y estos transmiten a su vez la señal al correlador, cuando no es posible transmitir los sensores pueden ser conectados por medio de cables. Los radiotransmisores utilizan baterías recargables.

Se suministra una batería de 12 volts de corriente directa, equipo para toma de corriente de 120 ó 240 volts de corriente alterna y aditamento para conectar al encendedor de un vehículo.



Figura 3.13 MicroCorr 6

3.4.8 Micro Call

El equipo MicroCall, ver figura 3.14, combina los programas para correlación pertenecen a la última generación, con la más avanzada tecnología y capacidad de una computadora (puede utilizar una portátil), logrando de esta manera un correlador de alta precisión. Gracias a ello muestra los resultados de múltiples formas al usuario a través de gráficos en color de alta calidad.

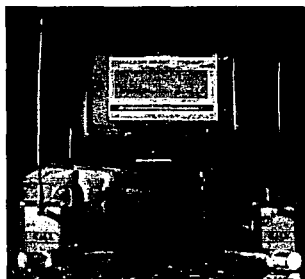


Figura 3.14 Equipo Micro Call

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La computadora es una herramienta que recopila y convierte toda la información generada por el correlador en diversos tipos de resultados gráficos de fácil interpretación. Gracias al ambiente Windows, se garantiza una gran velocidad y facilidad de manejo mediante diferentes iconos descriptivos (ver figura 3.15).

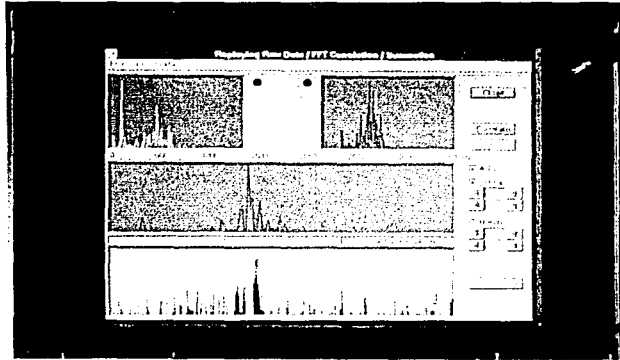


Figura 3.15 Tipo de gráficas que se presentan en la pantalla

La utilización de la información bien presentada permite al especialista afrontar con éxito las situaciones de localización de fugas más difíciles (tuberías de plástico, grandes diámetros, bajas presiones, etc).

MicroCall es un sistema diseñado para satisfacer todas las necesidades en control y detección de fugas, y por tanto preparado para usarse conjuntamente con otros productos, como por ejemplo el localizador de fugas Agualog, el transmisor-receptor para análisis de sectores nocturnos MAST, así como registradores de datos para controlar los gastos mínimos nocturnos. De esta forma el técnico podrá disponer en un mismo equipo de todas las aplicaciones del programa necesarias para realizar eficazmente su trabajo, solo con presionar el ratón sobre el icono correspondiente.

El equipo puede emplearse como una herramienta totalmente portátil, con su computadora portátil o como un sistema fijo instalado en una camioneta con un ordenador tipo computadora de última generación.

a) Resolución de la señal a procesar

Históricamente, los correladores procesaban una señal representada de información, la eficiencia de estos correladores se ve anulada cuando el ruido de fuga es débil frente a otros ruidos o interferencias; este equipo cuenta con la opción de ajustar la capacidad de audición por el usuario logrando buenos resultados, incluso en condiciones extremadamente desfavorables.

Los bajos niveles de ruido creados por una fuga débil o difícil son frecuentemente enmascarados por interferencias intermitentes generadas por ruidos tales como

los consumos de los usuarios. Los resultados obtenidos en esta condiciones son inconsistentes con indicaciones de fugas que aparecen y desaparecen. La posibilidad de visualizar los resultados en representaciones gráficas como son histogramas, permiten al usuario diferenciar y separar ruidos de fugas de otro tipo de ruidos.

3.4.9 Corralog

Corralog combina las funciones de múltiples equipos como son:

- Medidor de caudales para cuantificar el volumen de pérdidas
- Registrador de presiones para el análisis de redes y verificación de las presiones de servicio
- Prelocalizador por cierre secuencial para acotar las fugas en una zona determinada
- Correlador de ruido de fuga para localizar el punto exacto de esta
- Detector acústico para confirmar la fuga y su localización mediante el ruido

a) Ventajas

- Solución global, medir, detectar, localizar y confirmar la fuga con un sistema único
- Medida y visualización de gasto y presión en tiempo real
- Correlador sin comunicación vía radio, mejorando así la calidad de las señales tratadas
- Fácil de operar
- Fiabilidad y robustez por su diseño estanco
- Gran autonomía usando pilas tipo AA

b) Equipo básico suministrado (ver figura 3.16)

- Una unidad de correlador, Corralog
- Una unidad de registro, Corralog
- Dos sensores de acelerómetro
- Un par de auriculares tipo mono
- Un cable serial para impresora
- Un cable de descarga del PC
- Dos portapilas de repuesto
- Un soporte del correlador



Figura 3.16 Equipo Corralog

c) Descripción del sistema

El sistema principal consta de dos módulos discretos que podrían confundirse con el correlador y las unidades externas de sus sistemas convencionales, ver figura 3.17. Estos módulos tienen la facultad de hacer un registro sincronizado de datos de ruidos con un módulo y la capacidad para la correlación. Para transferir datos entre módulos, es necesario un enlace de datos infrarrojo de alta velocidad en serie, siempre y cuando las unidades estén juntas.

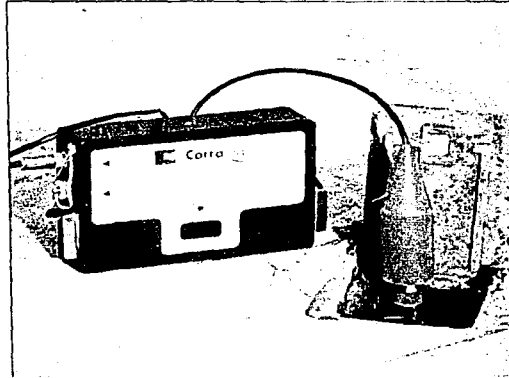


Figura 3.17 Unidades externas

El módulo abastece tanto a la interfase del usuario como a las funciones de correlación del sistema. También funciona como registrador discreto de ruidos.

Cuenta con un teclado numérico ergonómico y pantalla de cristal líquido, ver figura 3.18.



Figura 3.18 Unidad central (Correlador)

Fundamentalmente, se trata de un registrador de ruidos y un transformador de datos. La comunicación infrarroja de alta velocidad en serie le permite transferir los datos a la unidad de correlador, además dispone de una entrada transductiva que soporta un número unitario de cabezas del caudal estándar.

Cuando la unidad del registrador no esté en funcionamiento o cuando se estén transfiriendo datos, el registrador externo se unirá a la unidad del correlador mediante un enlace mecánico, moldeado en la caja del correlador.

Ejemplo

En una población se llevó a cabo una revisión de la red secundaria de abastecimiento de agua potable y se detectó que en una parte se presentaban pérdidas de presión por lo que se intuye que podrían existir fugas, por ello el organismo operador decidió verificar la existencia de ellas usando un correlador acústico para la ubicación puntual de la posible fuga. El tramo donde se revisó tiene una longitud de 150 m, la tubería es de poliestireno con un diámetro de 6 plg.

Ahora bien lo que hace el correlador una vez que se le ha dado el tipo de material y la longitud de la tubería es registrar el tiempo que tarda en llegar la onda de sonido a uno y otro sensor, con los tiempos determina la diferencia de estos y resuelve la ecuación siguiente:

$$D_1 = \frac{L - V(T_r)}{2}$$

donde

D_1 distancia entre fuga y sensor (azul)

L longitud del tramo, en m

V velocidad de propagación del sonido en ese material*

T_r diferencia de tiempos**

Para este caso

$L = 150$ m

$V = 1850$ m/s

$T_r = 0.03$ s

El correlador resuelve la ecuación anterior

$$D_1 = \frac{150 - 1850(0.03)}{2}$$

por tanto la distancia entre uno de los sensores (azul) y el punto de la fuga

* Este valor se toma de la Tabla 1

** Lo determina el correlador

4. CONCLUSIONES

Los correladores son una herramienta muy útil ya que con su ayuda se pueden detectar y puntualizar una gran cantidad de fugas en las diferentes redes de abastecimiento de agua potable. Con la detección y corrección de ellas el suministro de agua sensiblemente mejora.

En los Estados Unidos es muy frecuente el uso de los correladores para la detección de fugas en sus sistemas de abastecimiento de agua potable, en México apenas se empieza a aplicar este equipo para localizar las principales fugas dentro de los sistemas de abastecimiento. Para utilizar más eficientemente el instrumento de localización de fugas es necesario actualizar los planos de las redes de abastecimiento ya que de no estarlo dificulta la utilización de los correladores para la búsqueda de fugas; otro de los problemas es que la mayoría de los usuarios no permiten el paso de los trabajadores dentro de sus domicilios cuando se pide permiso para conectar los aparatos en su tomas domiciliaria, con este tipo de acciones es imposible detectar si una toma tiene fugas o no. Por eso el organismo operador aún sigue usando con mayor frecuencia equipo que no es necesario conectarlo dentro de los domicilios.

Para obtener mejores resultados es necesario usar en conjunto a los correladores y, a otro tipo de equipo ya sean geófonos o sensores de zona que dan una idea de por donde puede existir una fuga y así, una vez ubicado el tramo se coloca el correlador con sus respectivos sensores (acelerómetros) y se toma la lectura en el tramo de tubería para tener el punto preciso de la fuga.

Los correladores son confiables y seguros ya que gracias a los radios inalámbricos la señal se puede captar a una distancia considerable, esto es fuera del arroyo vehicular cosa que no pasa con los geófonos ya que con estos se tiene que andar en zigzag sobre la tubería en pleno paso de los coches por lo que resulta muy peligroso para el personal que realiza la búsqueda de posibles fugas o esta haciendo una simple revisión de las tuberías.

Por otro lado, el equipo de los correladores no es pesado y además es de fácil manejo en su transportación, claro también hay equipo que se monta en una camioneta para un mejor traslado de un lugar a otro, pero en este caso ya se tiene dentro del transporte una computadora, impresora y una pequeña oficina para dar tratamiento a la información mandada por los sensores y localizar mucho más rápido el punto exacto donde se encuentra la fuga; en cambio con el geófono sólo se da una idea de por donde puede estar la fuga.

Hoy en día ya se dispone de un correlador con computadora portátil y ya no es necesario andar en una camioneta con todo el equipo de cómputo, este equipo cuenta con unos radios de largo alcance para mandar la señal al equipo central donde se realiza la correlación y es capaz de almacenar el espectro del sonido en la memoria de la computadora para su análisis posterior; aquí en México apenas se cuenta con los primeros correladores inalámbricos, pero ya es posible conseguir uno de los más adelantados para la detección de fugas dentro del sistema de abastecimiento de agua potable.

En los correladores el sonido juega un papel muy importante ya que gracias a él se hace uso de este equipo, el estudio del sonido ha ayudado a desarrollar nuevas tecnologías; para mejorar el entorno en el que nos desenvolvemos, por ejemplo, el ultrasonido que ayuda a los médicos a visualizar el funcionamiento de los órganos internos de sus pacientes; también se tiene el radar para el control de el tráfico aéreo, estos dos ejemplos muestran su grado de aplicabilidad, ya que existe una gran variedad de casos en donde se usa el sonido.

BIBLIOGRAFÍA

1. "Física 2ª Edición"
Jerry D. Wilson
Editorial Prentice Hall
México 1994
2. "Física General"
Francis W. Sears, Mark W. Zemansky
Editorial Aguilar
México 1979
3. Manual del usuario del correlador Microcorr 6
4. Manual del usuario del correlador Corralog
5. Folletos de Proveedores
6. Páginas Web
www.grupoage.com/page14.htm
www.palmer.co.ule/index2.htm
www.sigmagellas.gr
www.hurberg.es
7. Información del personal que ha trabajado con el equipo
8. "Reducción Integral de Pérdidas de Agua Potable"
Ochoa A. L., Bourguett O. V.
SEMARNAP, IMTA y COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
México