



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR
DE LOJA**

La Universidad Católica de Loja

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**“POLÍTICAS PARA EL CONTROL ACTIVO DE
FUGAS”**

Tesis de grado previa a la
obtención de título de
Ingeniero Civil

AUTORA:

Glenda Marianela Medina Medina

DIRECTOR:

Holger M. Benavides Muñoz

Loja – Ecuador

2009

Holger M. Benavides Muñoz

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido y revisado la tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Civil, realizada por el Profesional en formación: Glenda Marianela Medina Medina, cuyo título es: “POLÍTICAS PARA EL CONTROL ACTIVO DE FUGAS”; tema que cumple con las características exigidas por la reglamentación de la Escuela de Ingeniería Civil, por tanto, autorizo su presentación.

Holger M. Benavides Muñoz

AUTORÍA

El contenido en general; conceptos, análisis, criterios, y desarrollo del proyecto es de exclusiva responsabilidad del autor.

Glenda Marianela Medina Medina.

CESIÓN DE DERECHOS

Yo, *Glenda Marianela Medina Medina*, declaro ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la universidad”.

.....
Glenda Marianela Medina Medina.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser la luz en mi camino y brindarme la oportunidad de conseguir este objetivo, el de culminar mis estudios universitarios.

A mis padres quienes con su esfuerzo, sacrificio y amor permitieron realizar mis estudios académicos, y por ser modelo auténtico para fijar consistentes principios y valores morales.

A la Universidad Técnica Particular de Loja, a todos los profesores de la Escuela de Ingeniería Civil, quienes constituyen el fundamento de mi formación profesional en particular al Ing. Holger Benavides Muñoz Director de Tesis; por sus valiosas sugerencias y orientaciones, realizadas en el presente estudio.

Gracias.

Glenda Marianela Medina Medina.

DEDICATORIA

A mis padres Paulino y Alicia, mis hermanas Olga y Shirley, a mi hermano Favio, quienes me apoyaron y estuvieron pendientes durante mi formación académica.

A mi prima (Jholenny) considerada como mi hermana, amiga y cómplice, mujer noble llena de alegría.

A mis familiares y amigos que estuvieron brindándome su apoyo incondicional en todo momento.

Glenda Marianela Medina Medina.



POLÍTICAS PARA EL CONTROL ACTIVO DE FUGAS

Glenda Medina Medina¹, Holger Benavides M².

¹ Profesional en formación, ² Docente investigador de, hmbenavides@utpl.edu.ec

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consistió en proponer políticas para controlar el volumen fugado en redes de distribución, debido a la ausencia de conocimiento por parte del personal del departamento de agua potable y demás dependencias, por falta de financiamiento para la adquisición de equipamiento y desinterés acerca del tema; además de proponer un manual para la detección, localización y reparación de fugas (etapas de fugas) con el fin de cumplir con las actividades que conllevan a la disminución del volumen de agua que se pierde por fugas.

Con la ejecución de las cuatro actividades se puede reducir las pérdidas (gestión de la presión, control activo de fugas, gestión de la infraestructura y tiempo y calidad de reparaciones)

La sectorización y la ubicación de puntos estratégicos (nudos de control) ayudan a la obtención de registros que ayudarán al balance hídrico se conoce el volumen inyectado a la red y el volumen facturado por consumos de los usuarios y la diferencia de volúmenes que son las pérdidas de agua de la red.

1. GENERALIDADES

1.1 Introducción

En redes de distribución de agua para consumo humano, normalmente, las fugas son una característica común, que identifican a cada sistema.

Debido a la existencia de fugas incontroladas dentro de un sistema o una red de agua potable, se ve la necesidad de plantear políticas que ayuden a: prevenir, detectar, localizar y reparar fugas, con el propósito de mejorar la operación y gestión hidráulica del sistema, evitando de esta manera gastos innecesarios de recursos naturales, humanos y económico-financieros.

Y el de generar un manual técnico que sirva como una herramienta práctica para quienes se involucran en la operación, mantenimiento y manejo de redes de distribución de agua potable, con énfasis en un control activo de fugas.

1.2 Justificación

El control de agua no contabilizada es un conjunto armónico de actividades, destinadas a alcanzar y mantener un nivel en que los componentes de pérdidas (fugas, rebosamiento, usos y conexiones clandestinas, consumos operacionales y errores de estimación), sean los mínimos posibles en condiciones de viabilidad técnica, económica, financiera.

La presente investigación se podrá utilizar para mejorar la eficiencia en la gestión de sistemas urbanos de agua mediante balances hídricos, en el cual se conocerá el estado de la red.

1.3 Objetivos:

- Plantear políticas para el control activo de fugas en redes de distribución de agua para consumo humano.
- Estructurar metodológicamente un plan de acciones para que las empresas operadoras cuenten con lineamientos enmarcados dentro de un control activo de fugas.
- Proponer alternativas para la evaluación y diagnóstico de sistemas de agua potable.
- Elaborar un manual técnico para detectar, localizar y reparar fugas.

2. GENERALIDADES DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

2.1 Sistema de distribución

Los sistemas de distribución de agua deben ser diseñados para que cumplan con parámetros como: calidad, cantidad, continuidad y presión.

2.1.1 Red

Red es un sistema topológico que está combinado de nudos y líneas, puede ser ramificada, mallada o mixta; mediante la cual se transporta y distribuye el agua hasta los puntos de consumo.

2.2 Pérdidas de agua

Es aquel volumen producido de agua, que no llega a los clientes de la empresa, o que llegando a ellos no puede ser medida ni contabilizada efectivamente, debido a fugas, errores de medición y facturación, usos legales e ilegales.

2.2.1 Pérdidas reales

Representa los escapes de agua en la red de distribución y en conexiones domiciliarias denominadas fugas.

“El volumen anual que se pierde a través de todo tipo de fugas, roturas y desbordamientos depende de las frecuencias, caudales y duración promedio de las fugas”.¹

2.2.2 Pérdidas aparentes

Representan el volumen de agua no facturada, por errores de medición o conexiones no autorizadas.

2.3 Fundamentos sobre fugas

2.3.1 Fuga

Es un escape de agua en cualquier punto del sistema de distribución como consecuencia de la pérdida de estanqueidad de la red.

2.3.2 Etapas de fugas

Según Allan Lambert, Stephen Myers y Stuart Trow (Managing water leakage) las etapas de las fugas son:

Detección, localización y reparación

2.3.3 Clasificación de fugas

Se clasifican en reportadas, no reportadas y de fondo (inevitables).

Fugas reportadas

- “Aforan a la superficie por su alto nivel de caudal y presiones altas.
- Promedio de flujo es de 500 L/h a 50000 L/h.
- Tiempo de duración es corta y por tanto la reparación es inmediata.

Fugas no reportadas

- No son visibles y no comunicada.
- Se infiltran en el suelo.
- Detectadas y localizadas mediante equipos acústicos.
- El nivel de caudal es bajo.
- Caudal de fuga no reportada es de 10 L/h a 500 L/h.
- Tiempo de duración puede ser desde días, meses hasta años.

Fugas de fondo o inevitables

- Son invisibles y no comunicadas.
- Dificultad en su detección por su caudal muy bajo, el que se encuentra dentro de un rango de 10 L/h”².

2.3.4 Causas de origen de las fugas

- Fallas estructurales, geotécnicas y de estabilidad de los elementos de la red.
- Presiones altas.
- Efectos del tráfico.
- Corrosión interna y externa.
- Material de tuberías y accesorios.
- Golpe de ariete por errores operacionales.
- Edad de la tubería.
- Mano de obra.
- Movimiento del suelo.

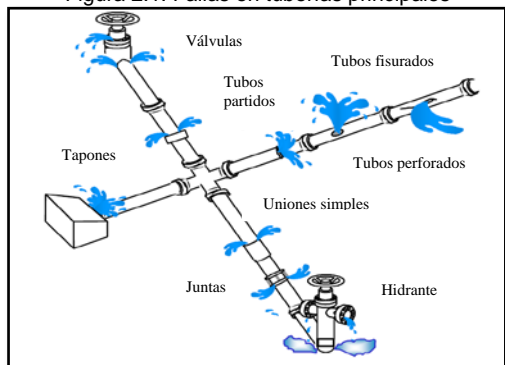
2.3.5 Lugar de ocurrencia de las fugas

- a. Fugas en depósitos.- por agrietamientos o reboses de los niveles de agua.
- b. Fugas en conducciones, líneas principales y secundarias.- producidas por corrosión, por cargas superficiales, instalación y material de fabricación defectuoso, y por el golpe de ariete debido a cambios bruscos en la operación del sistema.

¹ Manual de indicadores de gestión para agua potable y alcantarillado sanitario. Asociación de entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas (ADERASA).

² Resumido de: M.I. Víctor Bourguet Ortiz. Centro mexicano de capacitación en agua y saneamiento, A.C. AF1-3 Estrategia y organización para la detección de fugas. México 2004; Holger Benavides M. (2007). Sanitaria IV. Conferencia 8 Evaluación de redes. Apuntes de clases.

Figura 2.1. Fallas en tuberías principales



Fuente: Ortiz Bourguet Víctor. 2004.

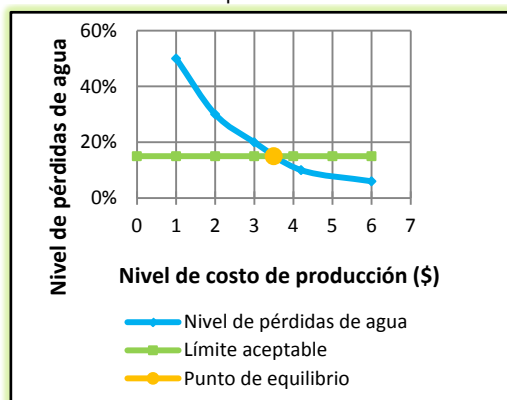
- c. Fugas en conexiones domiciliarias.- se deben a rajaduras, perforaciones, corte o piezas flojas, aquí se presenta el mayor porcentaje de fugas.
- d. Fugas en el cuadro del medidor.- se originan por piezas flojas y falta de hermeticidad del micromedidor.
- e. Fugas en cajas de válvulas.- Se producen por rotura de empaques o volantes de las válvulas.
- f. Fugas intradomiciliarias.- principalmente se presentan en los herrajes de los WC o bien en empaques de regaderas y llaves.

2.3.6 Nivel óptimo de pérdidas.

Las fugas son pérdidas económicas, pero existe un nivel mínimo aceptable (umbral mínimo de fugas) que se puede alcanzar con el continuo desarrollo de las actividades de la gestión de fugas.

En la figura 2.3 muestra el proceso de recuperación de agua, recuperar un nivel de 50% al 30% tendría un costo inferior a recuperar 30% al 20% de agua. Reparar o rehabilitar los daños en las tuberías debido a fugas o errores de contabilización puede ser conveniente y rentable hasta cierto punto.

Figura 2.3. Curva de costo contra nivel de reducción de pérdidas



Fuente: Ortiz Bourguet Víctor. 2004.

2.3.7 Reducción integral de pérdidas de agua.

La reducción integral de pérdidas de agua es un conjunto de actividades que inician con el cálculo de los componentes del balance hídrico de la red, del cual se obtendrá un conjunto de variables de contexto e hídricas de la red hidráulica, las que permitirán definir un sistema de indicadores de gestión, los que se compararán con patrones internacionales como la IWA, AWWA y finalmente con estos resultados se realiza el diagnóstico de pérdidas, el cual permitirá proponer acciones administrativas, técnicas y legales estableciendo una estructura apropiada en la empresa operadora para controlar y dar sustentabilidad a la reducción del volumen fugado en el sistema de distribución.

3. AUDITORÍA DE AGUA PARA LA GESTIÓN DE FUGAS

La auditoría es utilizada para analizar y evaluar los procedimientos utilizados para disminuir el volumen fugado en la red, verificar el buen funcionamiento de la red, conocer las debilidades o falencias y proponer un plan de acciones, puede realizarse semestral y anualmente.

3.1 Diagnóstico de una red de abastecimiento de agua potable

Es el conjunto de actividades o procedimientos de recolección de información estadística y de campo del sistema de agua potable, para obtener una descripción técnica clara del estado físico de la red de distribución.

Se realiza a través del balance hídrico evaluando la eficiencia de la red mediante rendimientos, y con indicadores de gestión (I.G.), los que permiten la comparación con empresas internacionales como IWA, AWWA.

3.1.1 Diagnóstico mediante balance hídrico.

El diagnóstico por medio del balance hídrico permite conocer los diversos niveles y los destinos del agua inyectada, y se evalúa la eficiencia del sistema a través de rendimientos hídricos porcentuales.

3.1.1.1 Componentes del balance hídrico³

V.- Volumen de agua anual inyectado a la red.

Vr.- Volumen registrado o facturado medido por los contadores.

Vic.- Volumen incontrolado consumido o agua no contabilizada, del cual no se sabe cuál es su uso o destino final.

El *agua no contabilizada* es la diferencia que existe entre el volumen de entrada al sistema y el consumo facturado.

En sistemas normales representan del 20% al 30% del agua producida, pero en sistemas viejos superan el 50%.

Índice de agua no contabilizada

$$IANC = \left(1 - \frac{V_f}{V_i}\right) \times 100 \quad [Ec. 01]$$

Donde:

Vf volumen facturado

Vi volumen inyectado

Vif.- Volumen incontrolado fugado, debido a pérdidas de la red.

Vica.- Volumen incontrolado consumido y no medido debido a la ausencia de contadores.

Vice.- Volumen incontrolado consumido y no registrado debido a errores de los contadores debido a la inexactitud de medidores por falta de mantenimiento,

Vical.- Volumen incontrolado consumido y no medido por ausencia de contadores, por acometida autorizada legal.

Vicai.- Volumen incontrolado consumido y no medido por ausencia de contadores, por acometida ilegal.

Vs.- Volumen suministrado es la suma entre el volumen registrado y el volumen incontrolado ó la diferencia entre el volumen inyectado y el volumen fugado.

$$Vs = Vr + Vi = V - Vif \quad [Ec. 02]$$

Tabla 3.1. Componentes del balance hídrico propuesto por la IWA

Volumen de entrada al sistema [m ³ /año]	Consumo Autorizado [m ³ /año]	Consumo autorizado facturado [m ³ /año]	Consumo facturado medido	Agua Facturada (Contabilizada) [m ³ /año]
Pérdidas de agua [m ³ /año]	Consumo autorizado no facturado		Consumo no facturado medido	
			Consumo no facturado no medido	
Pérdidas reales	Pérdidas aparentes		Consumo no autorizado	
			Errores de medición y de manejo de información	
			Fugas en transporte y/o conducciones de distribución	
			Fugas debido a derrames en depósitos de almacenamiento	
			Fugas en acometidas hasta el punto de medida	

Fuente: Mckenzie Ronnie, Lambert Allan. (2004) Best Practice Performance Indicators: A Practical Approach. IWA

3.1.1.2 Rendimientos hídricos porcentuales de una red de agua

• Rendimiento de la red (η_r)

Expresa el estado físico de la red y su modo de operación (control de presiones, etc.) (BORGUETT 2004).

[Ec. 03]

• Rendimiento de la gestión técnico-administrativa (η_s)

Este rendimiento representa hasta qué punto se registra el caudal suministrado a los abonados.

$$\eta_s = \frac{Q_r}{Q_s} \quad [Ec. 04]$$

³ Autoría de redes de distribución de agua. Enrique Cabrera, Jabier Almandoz, Francisco Arreguil, Jorge García – Serra.

- **Rendimiento Global del sistema (η_g)**

El rendimiento global es el producto entre el rendimiento de red y el rendimiento de gestión técnico-administrativa.

$$\eta_g = \eta_s \times \eta_r = \frac{Q_r \times Q_s}{Q_s \times Q} = \frac{Q_r}{Q}$$

$$\eta_g = \frac{Q_r}{Q} \quad [Ec. 05]$$

Tabla 3.2. Calificación de la gestión de un abastecimiento en función de η_s

$$\eta_g = \eta_s \times \eta_r = \frac{Q_r \times Q_s}{Q_s \times Q} = \frac{Q_r}{Q}$$

Jorge García Serra (Autoría de redes de distribución de agua) expone que es un indicador perverso porque a mayor consumo el rendimiento global es excelente, con un caudal de fugas iguales a un sistema de abastecimiento con menor consumo e igual volumen inyectado.

3.1.2 Diagnóstico mediante indicadores de gestión

Los indicadores de gestión son una herramienta que permite su comparación frente a empresas internacionales como el IWA, AWWA.

Se realizó una recopilación de indicadores de gestión de empresas como: IWA, AWWA, SEDAPAR, ADERESA, IMTA.

Los indicadores más acogidos son UMF, VIF y IFE.

Las ventajas que presenta la aplicación de indicadores de gestión son:

- Permite obtener una respuesta rápida y de calidad de las empresas operadoras.
- Facilita información clave para la comparación con otros sistemas.
- Adopción de medidas correctivas.

Con los indicadores de gestión se puede realizar un benchmarking o comprobación métrica, pues se obtiene un valor que no dice que está bien o mal, solo es un número que puede ser mayor o menor que el de referencia.

3.2 Cálculo del balance hídrico.

Se establece el periodo de análisis, el que puede estar en un rango de tiempo de 6 meses a 1 año; y se debe elegir una unidad de medida de volumen (L ó m³).

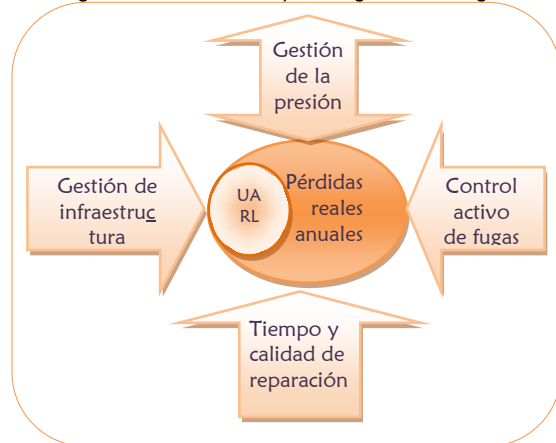
El cálculo del balance hídrico se utilizó datos empleados por el Ing. Holger Benavides M.⁴, proporcionados por la empresa EMAAP-Q del sector Mirasol Bajo.

- **Volumen de entrada al sistema.**

4. ACTIVIDADES PARA LA GESTIÓN DE FUGAS

En la figura 4.1 se muestran las cuatro actividades que propone el Water Loss Group (IWA), para reducir el nivel pérdidas de agua de la red. A medida que el sistema se deteriora, las fugas tenderán a aumentar si no son restringidas por las cuatro actividades.

Figura 4.1. Actividades para la gestión de fugas



Fuente: Stuart Hamilton. Acoustic leakage detection. The IWA water loss task force. Water 21 - article no. 7.

4.1. Control activo de fugas

Para el control de fugas es necesario realizar mediciones y sectorización de la red.

Con la detección, localización y reparación de fugas se conocerá el tipo, las causas, el lugar de ocurrencia, tiempo de duración del escape físico de agua, el material de la tubería, obteniendo un historial de fugas en el sistema de abastecimiento de agua potable.

Acciones que se debe considerar para un nivel bajo de pérdidas:

- Inspecciones sanitarias visuales del sistema de distribución.
- Medición de distritos (Balance hídrico).

⁴ Docente investigador, Ingeniería Hidráulica en Saneamiento – Unidad de Ingeniería Civil, Geología y Minas - UTPL.

- Mediciones continuas o pausadas de flujos nocturnos.
- Colocación temporal de detectores de ruidos de fugas.

4.1.1. Medición en una red de abastecimiento de agua.

Es muy importante porque permite conocer el volumen inyectado en la red (macromedición) y el volumen consumido por los usuarios (micromedición), con la finalidad de disponer de registros mensuales de caudal.

Actividad que puede ser respaldada mediante acciones de soporte como son: supervisión, mantenimiento de medidores, verificación de medidores (laboratorio).

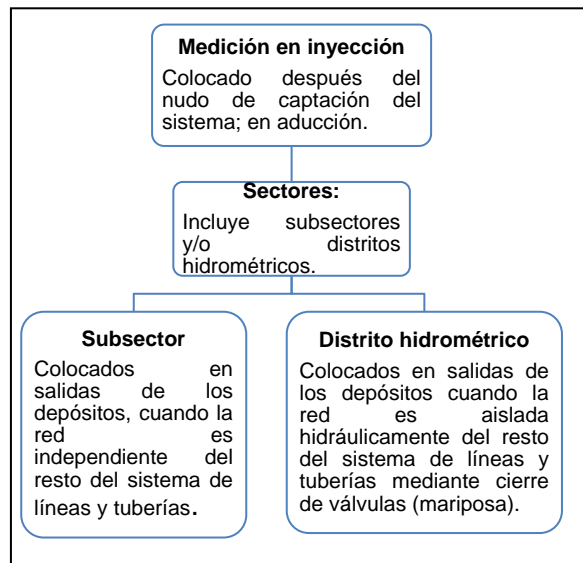
En la Norma Ex IEOS (Parte 7-1, literal 4.1.10) señala que: en la salida del tanque de almacenamiento se debe colocar un medidor domiciliario con una población de 5000 habitantes en la Sierra, y cuando la población es mayor a 5000 habitantes colocar un dispositivo de medida y registro conformada por un tubo venturi correspondiente registrador-totalizador de caudal.

4.1.2. Sectorización de una red de abastecimiento de agua potable.

En la figura 4.3 se observa la sectorización la red, que es limitada o subdividida en sectores los cuales están formados por distritos hidrométricos y/o subsectores; en cada entrada debe estar equipada con contadores para medir los consumos y presiones (Esquema 4.1).

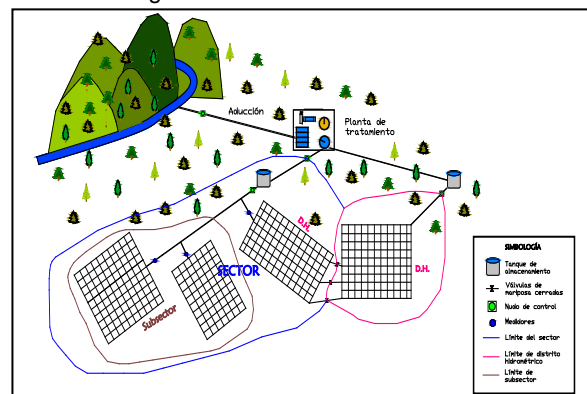
La ventaja de sectorizar la red es que se conoce la curva de caudal de cada sector, y en especial el caudal mínimo nocturno que es medido entre las 2 y 4 de la madrugada.

Esquema 4.1. Medición y registro de los nudos de control en una red



Fuente: Benavides M, Holger M. Apuntes personales

Figura 4.3. Red Sectorizada

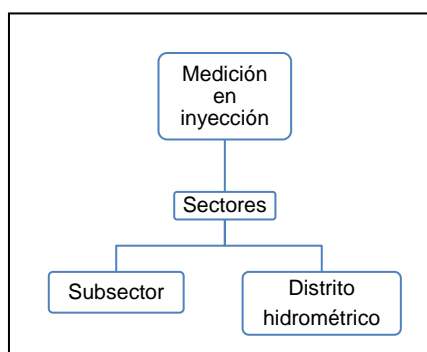


Fuente: La Autora

Para la sectorización de una red se propone lo siguiente:

1. Actualizar planos y catastro de la red de distribución,
2. Digitalizar la red de distribución,
3. Limitar la red mediante sectores,
4. Ubicar los nudos de control y medición (Esquema 4.2),

Esquema 4.2. Distribución del sistema de sectorización en una red para la ubicación de nudos de control.



Fuente: Benavides M, Holger M. Apuntes personales

5. Herbert Farrer consultor a corto plazo de OPS/OMS-CEPIS (Lima- Perú) recomienda realizar inspecciones de campo para confirmar la información del sistema y el estado de las válvulas, para lo cual establece lo siguiente:

- Verificar que las válvulas estén limpias y que estén operando adecuadamente; para su comprobación se las cierran y con un geófono o caudalímetro ultrasónico se comprueba que no circule agua.
- En caso de válvulas deterioradas se recomienda repararlas o cambiarlas por otras nuevas.
- Se deberá ir cerrando las válvulas escalonadamente lo que permitirá aislar del sector (se cerrarán las válvulas límites o aquellas que aíslan completamente el DH, luego las válvulas auxiliares sea que una vez cerradas disminuye el caudal hasta que los tramos vayan quedando sin agua)

6. Marcar con colores en planos, SIG y en el campo (en las aceras) la tubería de la red.
7. Determinar consumos por sector.
8. Calcular las pérdidas de agua.

4.1.3. Detección y localización de fugas

Los métodos de detección y localización se fundamentan en la intensidad y frecuencia del sonido de la fuga, para lo cual se utilizan instrumentos acústicos como: micrófonos de contacto, barras acústicas, geófonos, correlación acústica, micrófonos de suelo, fonómetros, etc.

4.1.3.1. Tipo de ruido de una fuga

El ruido originado por una fuga en tuberías enterradas es producido por el escape de agua a presión que genera vibraciones.

Tipos de sonidos que son producidos por las fugas.

- a. La resonancia o vibración de la tubería.
- b. El ruido por el impacto del agua en el suelo o por la circulación del agua.
- c. El agua impactando directamente sobre el suelo.

4.1.3.2. Factores que afectan el sonido y frecuencia de las fugas

- Presión de agua en la tubería
- Material y diámetro de la tubería
- Tipo de suelo y grado de compactación
- Profundidad de la tubería
- Cubierta superficial.

La intensidad del sonido es directamente proporcional a la presión en el interior de la tubería.

4.1.4. Equipos para la detección y localización de fugas.

4.1.4.1. Correlador acústico

Equipo electrónico que transmite una onda acústica a través de la tubería de agua para indicar de manera precisa la distancia donde se encuentra la fuga.

Para su aplicación es necesario que el ruido de la fuga sea registrado nítidamente por los sensores.

Figura 4.8. Equipo de correlación acústica



Fuente: http://www.aguamarket.com/sql/productos/fotos/col_112.jpg

Principios de funcionamiento

Consta de dos sensores que van a estar en contacto con la tubería, los cuales captan el

ruido, lo amplifica y lo transmite a la unidad central.

Las dos señales transmitidas por los sensores, se procesan en sus componentes de frecuencia, para desechar la información que no es común (ruido por automóviles), aprovechando la información de la señal de los sensores que es transmitida a la unidad central calculará la distancia exacta de la fuga.⁵

Parámetros que se debe tener en cuenta para su aplicación

- Tuberías bajo presión
- Tuberías libres de aire
- Velocidad del sonido
- Trazado exacto de las tuberías
- Tipo de material y diámetro de la tubería y su ubicación.

4.1.4.2. Geófono

Es un instrumento transmisor y amplificador de sonido de la fuga.

Formado por un micrófono que capta y recoge el sonido luego lo transmite como una señal acústica a los auriculares y mediante un micro amperímetro puede ser visualizado a través de un display digital el cual, representa el nivel del ruido.

Los micrófonos son colocados en puntos de contacto remotos tales como válvulas, llaves de corte, hidrantes, medidores domiciliarios⁶.

Figura 4.9. Geófono



Fuente: http://www.iis-brunelleschi.it/assets/images/autogen/a_geofono.jpg

4.2. Gestión de la presión

⁵ Correlador acústico controlado por PC, Multicorrelación. EATHISA

www.eathisa.com/dat/archivos/MAQ6000.pdf, consulta Febrero 2009, página activa.

⁶ Resumido:

<http://www.inspeccionestecnicas.es/geofono.htm>

Actividad clave para reducir pérdidas de agua y disminución de la frecuencia de la aparición de roturas en la red de distribución y conexiones domiciliarias.

La reducción de la presión influye en el caudal de agua que se pierde en una determinada fuga, como así también en el nivel de consumo de la población, a mayor presión mayores fugas y consumos.

4.2.1. Dispositivos para el control de presión

La gestión de presión es a menudo lograda por la instalación de:

- Las válvulas reductoras de presión.- regulan la presión aguas abajo del punto de instalación.
- Válvulas sostenedoras de presión.- mantiene la presión aguas arriba de su punto de instalación.

Al escoger la válvula de regulación se debe considerar lo siguiente:

- Tamaño y contextura del sistema de distribución,
- Costo de instalación y mantenimiento,
- Pronóstico de ahorro de agua,
- Número de consumidores (Presión mínima, regulaciones contra incendios)⁷.

4.1.1. Factores que se debe considerar en la gestión de la presión

Relación de la presión y el caudal de fuga

La IWA y UKWIR representan la relación del caudal de fuga y la presión.

$$\frac{Q_f}{Q_o} = \left(\frac{P_f}{P_o}\right)^{N_1} \quad [\text{Ec. 01}]$$

Donde Q_f , Q_o es el caudal de la fuga después y antes de la reducción de presión; P_f , P_o es la presión después y antes de implementar su reducción; N_1 es el exponente que varía entre 0.5 y 1.5 pero puede alcanzar valores de hasta 2.5, depende del tipo de agujero o falla longitudinal y el material de la tubería.

⁷ LAMBERT, Allan & MYERS, Stephe & TROW, Stuart. (1998) "Managing water leakage". Economic and technical issues. Publicado y distribuido por Financial Times Energy. Gran Bretana

Relación entre la presión y frecuencia de nuevas fugas

La relación entre la frecuencia de aparición de nuevas fugas y la presión de operación del sistema requiere que se conozca:

- La historia de roturas en el tiempo, antes y después de la implementación de la gestión de presión.
- La edad, dimensiones, materiales y condiciones de operación.
- Clasificación de roturas en los componentes del sistema.
- Clasificación de roturas de acuerdo a sus posibles causas.
- La frecuencia de tuberías reventadas.

La IWA desarrolló la siguiente expresión, para pronosticar la frecuencia de aparición de nuevas fugas en función de la presión de operación:

$$\frac{R_1}{R_0} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N_2} \quad [\text{Ec. 02}]$$

Donde R_1 , R_0 es la frecuencia de roturas después y antes de la reducción de presión y N_2 es un exponente que varía entre 0.5 y 6.5.

4.3. Gestión de la infraestructura

4.3.1. Mantenimiento y rehabilitación

Consiste en actividades de reparación ágil. Se debe realizar mantenimiento en válvulas, tuberías, conexiones domiciliarias, acometidas y en los aparatos para la detección y localización de fugas.

La infraestructura de la red requiere mantenimiento, actualización y renovación, por lo cual si son diseñados para 25 años, se debería renovar cada año el 4% de la infraestructura.

Para lo cual se recomienda mantenimiento preventivo en junta del correctivo.

El mantenimiento correctivo: que tiene lugar luego que ocurre una falla o avería.

El mantenimiento preventivo: se realiza en forma planificada antes de que ocurra una falla o avería, y se efectúa bajo condiciones controladas, lo cual garantiza mayor vida útil del sistema.

4.3.2. Condiciones de la infraestructura

La mayoría de las redes están conformadas por diferentes tipos de materiales de la tubería, pero en muchos casos la mezcla de materiales es necesaria.

Algunos aspectos claves para determinar las condiciones de la infraestructura de la red de distribución son:

- Tipo de material de la tubería y condiciones del suelo.
- Personal capacitado para la colocación de tubería.
- Mantenimiento y reparación de tuberías y accesorios.
- Gestión de la presión.

4.4. Tiempo de reparación de fugas

Lapso mínimo de tiempo que se demora la cuadrilla en la reparación luego de ser reportada por usuarios o por cuadrilla de detección y localización de fugas.

6. MANUAL TÉCNICO PARA LA DETECCIÓN, LOCALIZACIÓN Y REPARACIÓN DE FUGAS.

Con el presente manual se desea brindar a empresas operadoras de agua, una herramienta de apoyo y guía para el desarrollo de actividades de detección, localización y reparación de fugas.

6.1. Importancia

En la red de agua es importante realizar actividades de detección, localización y reparación para minimizar el volumen de fugas mediante equipos acústicos.

6.2. Recursos humanos

Jefe del departamento.- Ingeniero civil, capaz de coordinar, controlar y supervisar las actividades de detección, localización y reparación de fugas.

Jefe de cuadrilla.- Persona encargada asignar tareas otorgadas por el jefe del departamento y de supervisar los trabajos realizados por las cuadrilla.

Cuadrilla de detección y localización de fugas.- Esta cuadrilla esta designada a la detección y localización de fugas mediante

instrumentos acústicos, está conformada por: 2 geofonadores u operarios, un fontanero y un chofer.

Se necesita de dos cuadrillas una en el día y la segunda en la noche, es importante que se alternen las actividades en forma rotativa, con una frecuencia semanal.

Cuadrilla de reparación de fugas.- El personal de esta cuadrilla realiza actividades de reparación de daños en tuberías, válvulas y en conexiones domiciliarias, que son comunicadas por la secretaria. Esta conformada por: 2 Peones, 1 Chofer para el traslado al lugar de trabajo, 1 Operador de válvulas, 1 Operador de maquinaria para la apertura de la zanja de la tubería, 1 Operador de maquinaria cortadora.

Usuarios.- El usuario tiene la obligación de reportar a la secretaria, vía telefónica o personal de la presencia de alguna fuga.

Secretario.- El secretario deberá tener conocimientos en archivo de documentos, computación, manejo de equipos de oficina, manejo de equipo de comunicación.

6.3. Equipo, materiales y herramientas para la detección, localización y reparación de fugas.

Conciérne al equipo utilizado para de detección y localización de fugas y al material y herramientas empleadas en la reparación del escape del agua de la red.

Los equipos deben encontrarse en óptimas condiciones, tener la cantidad suficiente para garantizar la calidad de la detección y reparación de fugas y, estar disponible para su uso,

6.4. Actividades del personal.

Jefe del departamento.

1. Elaborar y entregar rutas de trabajo.
2. Supervisar el trabajo de las cuadrillas.
3. Informar al usuario de la suspensión temporal del servicio por obras de reparación de fugas.
4. Recibir y solicitar reportes del jefe de cuadrilla.
5. Elaborar un informe diario de trabajo realizado.
6. Conocer normas y reglamentos de seguridad y utilizar el equipo adecuado

para eliminar la posibilidad de accidentes de trabajo.

Jefe de cuadrilla.

1. Coordinar las actividades del personal a su cargo.
2. Entregar rutas al chofer de la cuadrilla respectiva
3. Realizar informes de trabajo de las cuadrillas.
4. Recibir informes de las cuadrillas.

Cuadrilla de detección y localización de fugas.

1. El chofer traslada a la cuadrilla a la ruta de recorrido.
2. El operario realiza inspecciones e informar al jefe de cuadrilla de posibles fugas en válvulas, tuberías, medidores.
3. El geofonador realiza el recorrido de la ruta.
4. El operario llena el informe del reporte de fuga, el que es entregado al jefe de cuadrilla.
5. El informe de reporte de fuga es entregado al ingeniero auxiliar para el debido proceso de información.

Cuadrilla de reparación de fugas.

1. Acudir a lugares donde se reportan fugas
2. El chofer traslada a la cuadrilla al lugar de la fuga.
3. El operario de válvulas procederá al cierre de válvulas del tramo.
4. El operario de la máquina cortadora realizará los cortes de concreto en el pavimento.
5. El operario de la maquinaria realizará la excavación de la zanja para la reparación de la tubería.
6. Los peones realizarán la excavación necesaria.
7. El peón limpiará el área de trabajo que permitirá la reparación de la fuga.
8. Un peón llenará el informe de reparación, que será entregado al jefe de la cuadrilla.
9. Se procederá a rellenar la zanja.

Secretaria.

1. Atender reportes de usuarios vía telefónica y personalmente.
2. Elaborar oficios.
3. Recibir, procesar y archivar los informes de trabajo de las cuadrillas.
4. Entregar rutas de trabajo al jefe de cuadrilla.

5. Elaborar reportes de avances de trabajo.
6. Elaborar reportes de fugas reparadas al cien por ciento.
7. Recibir, clasificar y entregar la correspondencia.

6.5. Frecuencia de mantenimiento de equipos de detección, localización y reparación de fugas.

El mantenimiento de los equipos para la detección, localización y reparación de fugas son actividades que se realizan durante un periodo de tiempo, durante un año de trabajo. La frecuencia de mantenimiento se debe hacer semanal, mensual y anualmente.

7. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7.1. Conclusiones

- Se plantearon políticas para el control de fugas, lo que conlleva a un nivel bajo de pérdidas en redes de distribución de agua.
- Se detalla la realización del diagnóstico del sistema de agua potable mediante el balance hídrico, el cual se puede evaluar mediante indicadores de gestión.
- Se elaboró el manual técnico para la detección, localización y reparación de fugas.

7.2. Recomendaciones

A administradores de empresas operadoras para el control de fugas se recomienda:

- Realizar sectorización de la red mediante sectores y/o distritos hidrométricos de tamaños similares considerando número de población y presiones.
- Realizar macromedición y micromedición para conocer el volumen de perdidas de agua.
- Efectuar diagnósticos mediante balances hídricos de cada sector y/o distritos hidrométricos.
- Adquirir instrumentos de detección y localización de fugas; y efectuar actividades de detección, localización y reparación de fugas mediante cuadrillas de operación.

- Elaborar actividades para un continuo mantenimiento de la red de distribución de agua potable.
- Realizar actualizaciones continuas de catastros de la red como de usuarios.
- Se debe llevar a cabo la gestión de la presión ya que es una actividad clave reconocida internacionalmente para disminuir las pérdidas de agua, ya que a mayor presión mayores fugas.

A operadores y personal de la empresa operadora se recomienda:

- Realizar actividades de mantenimiento de la red abastecimiento de agua potable.
- Realizar capacitaciones sobre el uso y manejo de los instrumentos de detección y localización de fugas. También de los componentes de la red de distribución de agua (válvulas, tuberías, conexiones, medidores).
- Llevar registros de detecciones, localizaciones y reparaciones de fugas.

7.3. Referencias bibliográficas

- [1] BOURGUET ORTIZ, Víctor J. (2004). A.C. AF1-3 "Estrategia y organización para la detección de fugas". Centro mexicano de capacitación en agua y saneamiento, México.
- [2] BENAVIDES M, Holger. (2007). Sanitaria IV. Conferencia 8. Evaluación de redes. Apuntes de clase. Loja, Ecuador. UTPL.
- [3] LAMBERT, Allan & MYERS, Stephe & TROW, Stuart. (1998) "Managing water leakage". Economic and technical issues. Publicado y distribuido por Financial Times Energy. Gran Bretaña
- [4] Instituto Ecuatoriano de obras sanitarias IEOS. Normas para el estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones. CO 10.07 - 601

LINKS:

- [5] CONTRERAS GARZÓN, Fabio y THORNTON, Julián. (2006) "Influencia de la presión en las pérdidas de agua en sistemas de distribución". www.bvsde.paho.org/bvsaidis/uruguay30/C002045_Garzon_Contreras.pdf consulta Octubre 2008, pág activa
- [6] Manual de indicadores de gestión para agua potable y alcantarillado sanitario.(ADERASA).http://www.aderasa.org/aa/img_upload/.../Manual_de_Benchmarking_de_ADERASA_marzo_2007.doc, consulta Octubre 2008, página inactiva.

- [7] Auditoría de redes de distribución de agua. Enrique Cabrera, Jabier Almandoz, Francisco Arreguil, Jorge García – Serra. <http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/2957/1/64article6.pdf>, consulta Octubre 2008, página activa.
- [8] Losses from water supply systems: standard terminology and recommended performance measures. International Water Association. http://www.iwahq.org/uploads/iwa%20hq/wbsite%20files/media%20and%20communication/reference.../blue_pages, consulta Febrero 2009, página inactiva.
- [9] Clasificación y causas que producen las fugas. www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan/011632/011632-05.pdf. consulta Septiembre 2008, página activa.
- [10] Best Practice Performance Indicators for NonRevenue Water and Water Loss Components: A Practical Approach. Water Loss Group: IWA Task Force. <http://www.findmoreleaks.com/downloads/Water21-8.pdf>, consulta Octubre 2008, página activa.
- [11] Control de fugas en redes de distribución de agua. Proyecto de desarrollo tecnológico de las instituciones de abastecimiento de agua potable y alcantarillado (DTIAPA). Lima-Perú. <http://www.pdfdownload.org/pdf2html/pdf2html.php?url=http%3A%2F%2Fwww.bvsde.paho.org%2Fbvsacd%2Fscan%2F011985%2F011985-13.pdf&images=yes> consulta Febrero 2009. página Activa.
- [12] Stuart Hamilton. Acoustic leakage detection. The IWA water loss task force. Water 21 - article no. 7. http://www.pdfdownload.org/pdf2html/pdf2html.php?url=http%3A%2F%2Fwww.iwapublishing.com%2Fpdf%2FAugust_2004.pdf&images=yes , consulta Septiembre 2008, página activa.
- [13] SubSurface Leak Detection, Inc. How to find Leaks. http://www.subsurfaceleak.com/find_leaks.html. consulta Febrero 2009. página activa.
- [14] Benavides M. Holger. (2009) Detección de fugas por flujos nocturnos. Universidad Técnica Particular de Loja – Ecuador. <http://www.pdfdownload.org/pdf2html/pdf2html.php?url=http%3A%2F%2Fwww.utpl.edu.ec%2Fblog%2Fholgerbenavides%2Ffiles%2F2009%2F04%2Fconferencia-holgerbenavides-munoz.pdf&images=yes> consulta Abril 2009, página activa.
- [15] Recomendaciones para detección y aforo de fugas en tomas domiciliarias. CEPIS. <http://www.cepis.org.pe/bvsair/e/repindex/rep48/recomen/recomen.html>, consulta Febrero 2009, página activa
- [16] Correlador acústico controlado por PC, Multicorrelación. EATHISA www.eathisa.com/dat/archivos/MAQ6000.pdf, consulta Febrero 2009, página activa.
- [17] Indicadores de Instituto Mexicano Tecnológico del Agua. IMTA. www.ualg.pt/5cigpa/comunicacoes/IBERIC_O_Indicadores_Completo.doc, consulta Enero 2009, página activa

“POLÍTICAS PARA EL CONTROL ACTIVO DE FUGAS”

ÍNDICE

Certificación.....	i
Autoría.....	ii
Cesión de derechos.....	iii
Agradecimiento.....	iv
Dedicatoria.....	v
Paper.....	vi

CAPÍTULO UNO

1 GENERALIDADES

1.1	Introducción.....	2
1.2	Justificación.....	3
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	General.....	3
1.3.2	Específicos.....	3

CAPÍTULO DOS

2 GENERALIDADES DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

2.1	Sistema de distribución	
2.1.1	Red.....	5
2.1.2	Redes ramificadas.....	5
2.1.3	Redes malladas.....	5
2.1.4	Redes mixtas.....	5
2.2	Pérdidas de agua	
2.2.1	Pérdidas reales.....	6
2.2.2	Pérdidas aparentes.....	6
2.3	Fundamentos de las fugas	
2.3.1	Fugas.....	6

2.3.2	Etapas de las fugas.....	7
2.3.3	Clasificación.....	7
2.3.4	Causas que las originan.....	8
2.3.5	Lugares de ocurrencia de las fugas.....	11
2.3.6	Nivel económico de las pérdidas.....	12
2.3.7	Reducción integral de pérdidas de agua.....	13

CAPÍTULO TRES

3 AUDITORÍA DE AGUA PARA LA GESTIÓN DE FUGAS

3.1	Diagnóstico de una red de abastecimiento de agua potable.....	17
3.1.1	Diagnóstico mediante balance hídrico.....	18
3.1.1.1	Componentes del balance hídrico.....	19
3.1.1.2	Rendimientos hídricos porcentuales de una red de agua.....	21
3.1.2	Diagnóstico mediante indicadores de gestión.....	23
3.2	Caso práctico de aplicación para la gestión de fugas	
3.2.1	Pasos para el cálculo del balance hídrico.....	27

CAPÍTULO CUATRO

4 ACTIVIDADES PARA LA GESTIÓN DE FUGAS

4.1	Control de fugas.....	33
4.1.1	Importancia de la medición en una red de abastecimiento de agua.....	34
4.1.2	Sectorización de una red de abastecimiento de agua potable.....	35
4.1.2.1	Sector.....	36
4.1.2.2	Distrito hidrométrico.....	36
4.1.2.3	Subsector.....	36
4.1.3	Detección de fugas.....	41
4.1.3.1	Tipo de ruido de una fuga.....	41
4.1.3.2	Factores que afectan el sonido y frecuencia de las fugas.....	41

4.1.3.3	Transmisión del sonido a través de las paredes de la tubería.....	43
4.1.4	Equipos para la detección y localización de fugas.....	44
4.1.4.1	Por correlación acústica.....	44
4.1.4.2	Geófono.....	46
4.2	Gestión de la presión.....	47
4.2.1	Dispositivos para el control de presión.....	47
4.2.2	Factores que se debe considerar en la gestión de la presión.....	48
4.3	Gestión de la infraestructura.....	51
4.3.1	Mantenimiento y rehabilitación.....	51
4.3.2	Condiciones de la infraestructura.....	54
4.4	Tiempo de reparación de fugas.....	55

CAPÍTULO CINCO

5 POLÍTICAS PARA EL CONTROL ACTIVO DE FUGAS

5.1	Información básica de la red.....	57
5.2	Acciones para la reducción de pérdidas de agua.....	58

CAPÍTULO SEIS

6 MANUAL TÉCNICO PARA LA DETECCIÓN LOCALIZACIÓN REPARACIÓN DE FUGAS

6.1	Importancia.....	64
6.2	Recursos humanos.....	64
6.3	Equipo, materiales y herramientas para la detección y localización de fugas.....	67
6.4	Actividades del personal.....	67
6.5	Frecuencia de mantenimiento de equipo de detección y localización de fugas.....	70

CAPÍTULO SIETE

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1	Conclusiones.....	73
7.2	Recomendaciones.....	73
7.3	Referencias.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Fallas en tuberías principales.....	11
2.2	Fugas en tomas domiciliarias.....	12
2.3	Curva de costo contra nivel de reducción de pérdidas.....	13
3.1	Balance hídrico de una red de agua.....	18
4.1	Actividades para la gestión de fugas.....	33
4.2	Puntos de medición en una red de agua potable.....	35
4.3	Red sectorizada.....	38
4.4	Distrito hidrométrico con válvulas de aislamiento.....	40
4.5	Intensidad del sonido Vs. Presión de agua.....	42
4.6	Profundidad de la tubería Vs. Frecuencia de sonido de la fuga.....	43
4.7	Distancia máxima de transmisión del sonido de la fuga según el material de la tubería.....	44
4.8	Equipo de correlación acústica.....	45
4.7	Geófono.....	46

ÍNDICE DE TABLAS

3.1	Componentes del balance hídrico.....	21
3.2	Calificación de la gestión de un abastecimiento en función de η_g	23
3.3	Indicadores internacionales relacionando con la gestión de fugas.....	24
4.1	Valores del exponente N_2 (Thornton y Lambert, 2005).....	51
4.2	Actividades de mantenimiento de la red de abastecimiento.....	53

ÍNDICE DE ESQUEMAS

2.1 Reducción de pérdidas de agua.....	14
4.1 Medición y registro de los nudos de control en una red.....	37
4.2 Distribución del sistema de sectorización en una red para la ubicación de nudos de control.....	39

ANEXOS

Anexo A: Cálculo del balance hídrico.....	78
Anexo B: Formato de reporte de detección y localización de fugas.....	84
Anexo C: Formato de reporte de rehabilitación y localización de fugas.....	86

Capítulo I

Generalidades



1. GENERALIDADES

1.1 Introducción

En redes de distribución de agua para consumo humano, normalmente, las fugas son una característica común, que identifican a cada sistema; es decir, existirán redes con bajos volúmenes fugados que le marcarán con un rendimiento global ó un índice de fugas estructural excelente, mientras que en otras con grandes volúmenes fugados su rendimiento será malo o indeseable. En las ciudades de Latinoamérica es muy común encontrarnos con sistemas que fugan descontroladamente, generando cuantiosas pérdidas económicas a las empresas operadoras y a sus usuarios.

En el mejor de los casos, las empresas operadoras esperan a que se produzca una falla o se comunique una fuga para tomar medidas de localización, reparación ó rehabilitación, particularidad ésta que convierte en ineficiente la gestión de la red y por ende del sistema. Reparar los daños en las tuberías que ocasionan las fugas, o corregir errores de contabilización y registro de consumidores, puede hasta cierto punto ser conveniente y rentable.

El control sistemático y métrico en los abastecimientos de agua potable conlleva en la mayoría de los casos a un conocimiento de comportamiento y evolución física del sistema; y por lo tanto se facilita enormemente la toma decisiones sobre el tipo de gestión efectiva y más apropiada.

Debido a la existencia de fugas incontroladas dentro de un sistema o una red de agua potable, se ve la necesidad de plantear políticas generales apropiadas que nos ayuden a: prevenir, detectar, localizar y reparar fugas, con el propósito de mejorar la operación y gestión hidráulica del sistema, evitando de esta manera gastos innecesarios de recursos naturales, humanos y económico-financieros, con el consecuente incremento de la calidad de servicio que la empresa operadora brinda a sus abonados; además el de generar un manual técnico que sirva como una herramienta práctica para quienes se involucran en la operación,



mantenimiento y manejo de redes de distribución de agua potable, con énfasis en un control activo de fugas.

1.2 Justificación

La presente investigación se podrá utilizar para mejorar la eficiencia en la gestión de sistemas urbanos de agua mediante balances hídricos, en el cual se conocerá el estado de la red, por ende el porcentaje de pérdidas de agua debido a errores de medición ó errores de facturación y a usos no autorizados (usos y conexiones clandestinas).

El control de agua no contabilizada (volumen no facturado más volumen de pérdidas de agua) es un conjunto armónico de actividades, destinadas a alcanzar y mantener un nivel en que los componentes de pérdidas debido a fugas, rebosamiento, usos clandestinos de agua, desperdicios, consumos operacionales, consumos especiales, errores de medición y errores de estimación (en casas abandonadas ó por la ausencia de contador domiciliario), sean los mínimos posibles en condiciones de viabilidad técnica, económica, financiera.

1.3 Objetivos:

1.3.1 Objetivo general:

- ❖ Plantear políticas para el control activo de fugas en redes de distribución de agua para consumo humano.

1.3.2 Objetivos específicos:

- ❖ Estructurar metodológicamente un plan de acciones para que las empresas operadoras cuenten con lineamientos enmarcados dentro de un control activo de fugas.
- ❖ Proponer alternativas para la evaluación y diagnóstico de sistemas de agua potable.
- ❖ Elaborar un manual técnico para detectar, localizar y reparar fugas.

Capítulo II

Generalidades del sistema de
distribución de agua potable



2 GENERALIDADES DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

2.1 Sistema de distribución

Los sistemas de distribución de agua deben ser diseñados con el cumplimiento de las especificaciones técnicas que se detallan en la norma Ex - IEOS, tal que el agua para el consumo humano distribuida cumpla con los parámetros de calidad, cantidad, continuidad y presión.

2.1.1 Red

Red es un sistema topológico que está combinado de nudos y líneas.

A través de la red se transporta y distribuye el fluido (agua), desde su producción, almacenamiento hasta los puntos de consumo.

2.1.2 Redes ramificadas

Se caracterizan por su líneas que se dividen formando ramificaciones. No posee mallas y dos nudos cualesquiera sólo pueden ser conectados por un único trayecto.

2.1.3 Redes malladas

Se definen por la existencia de mallas, cuya estructura de la red es cerrada. En una red mallada cualquier par de puntos de la red se puede unir por lo menos en dos trayectorias distintas. El flujo del agua puede tener diferentes caminos pero alimenta a un solo nudo.

2.1.4 Redes mixtas

La red mixta es una combinación de las dos redes anteriores (red ramificada y red mallada).



2.2 Pérdidas de agua

Es aquel volumen producido de agua, que no llega a los clientes de la empresa, o que llegando a ellos no puede ser medida ni contabilizada efectivamente.

Las pérdidas de agua se dan por: Fugas en tuberías principales y secundarias, fugas en conexiones domiciliarias, reboses en tanques de almacenamiento y en estaciones de bombeo, conexiones no-autorizadas, errores de submedición domiciliaria, errores de facturación.

2.2.1 Pérdidas reales

Representa los escapes de agua potable en la red de distribución y en conexiones domiciliarias denominadas fugas. Las pérdidas reales se presentan por: empates mal realizados, cristalización de gomas en las uniones, daños que no afloran a la superficie o por malos criterios constructivos de la red.

“El volumen anual que se pierde a través de todo tipo de fugas, roturas y desbordamientos depende de las frecuencias, caudales y duración promedio de las fugas individuales”.¹

2.2.2 Pérdidas aparentes

Las pérdidas aparentes representan agua consumida pero no facturada, las salidas de caudal no medidos o no registrados por errores en los medidores o conexiones clandestinas o no autorizadas.

2.3 Fundamentos sobre fugas

2.3.1 Fuga

Una fuga es un escape de agua en cualquier punto del sistema de distribución como consecuencia de la pérdida de estanqueidad de la red. Puede ocurrir en conducciones, tanques de almacenamiento, redes de distribución, conexiones

¹ Manual de indicadores de gestión para agua potable y alcantarillado sanitario. Asociación de entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas (ADERASA). pág. 9 http://www.aderasa.org/aa/img_upload/.../Manual de Benchmarking de ADERASA marzo 2007.doc



domiciliarias e intradomiciliarias. Cuando las fugas son pequeñas, su detección se puede demorar desde semanas hasta años.

2.3.2 Etapas de fugas

Según Allan Lambert, Stephen Myers y Stuart Trow (Managing water leakage) las etapas de las fugas son un procedimiento de identificación y tiempo de duración de la fuga y está compuesto por tres etapas:

Detección.- Intervalo de tiempo de iniciación hasta donde la empresa operadora conoce de la existencia de la fuga, pero no su localización.

Localización.- Tiempo de ubicación de la fuga con instrumentos acústicos.

Reparación.- Tiempo de reparación de la fuga luego de ser localizada por la cuadrilla de la empresa operadora.

2.3.3 Clasificación de fugas

Se clasifican en reportadas, no reportadas y de fondo (inevitables).

FUGAS REPORTADAS

- “Son visibles.
- Fuga comunicada.
- Aforan a la superficie por su alto nivel de caudal.
- Presiones altas.
- Promedio de flujo es de 500 L/h a 50000 L/h.
- Tiempo de duración es corta.
- Reparación inmediata
- Se presentan en tuberías principales, secundarias y conexiones.



**FUGAS NO
REPORTADAS**

- No son visibles.
- Fuga no comunicada.
- Se infiltran en el suelo.
- Detectadas y localizadas mediante equipos acústicos.
- El nivel de caudal es bajo.
- Caudal de fuga no reportada es de 10 L/h a 500 L/h.
- Tiempo de duración puede ser desde días, meses hasta años.
- Se presentan en tuberías principales, secundaria, conexiones, válvulas, medidores.

**FUGAS DE
FONDO Ó
INEVITABLES**

- Son invisibles.
- Fuga no comunicada.
- Dificultad en su detección por su caudal muy bajo.
- Son características de una red en condiciones normales.
- El caudal de la fuga de fondo se encuentra dentro de un rango de 10 L/h.
- Se pueden presentar en juntas y accesorios de la tubería².

2.3.4 Causas de origen de las fugas

- Fallas estructurales, geotécnicas y de estabilidad de los elementos de la red (deslizamientos del terreno, los diferentes componentes del suelo y algunas obras subterráneas alrededor de la red crean presiones externas en la red, lo cual puede provocar cizallamiento y posterior a la ruptura de las tuberías.)

² Resumido de: M.I. Víctor Bourguet Ortiz. Centro mexicano de capacitación en agua y saneamiento, A.C. AF1-3 Estrategia y organización para la detección de fugas. México 2004; Holger Benavides M. (2007). Sanitaria IV. Conferencia 8 Evaluación de redes. Apuntes de clases.



- Presiones altas
- Efectos del tráfico.- “debido a las cargas impuestas por el tráfico las redes son muy susceptibles a fracturarse, especialmente aquellas con uniones rígidas. Las tuberías puede sufrir daños si la profundidad y compactación no son adecuadas”³.
- Corrosión: interna.-“se provoca por el transporte de aguas corrosivas o agresivas se presenta en las tuberías metálicas (el cloro es un elemento muy corrosivo); y externa.- es provocada por el fenómeno de gratificación que es causado por la disolución del hierro, depende del contenido de humedad, composición química, pH del suelo”.⁴

Para la protección adecuada se debe considerar: clase y estado del metal (composición, estructura), el medio en que se encuentra y el contacto entre el metal y el medio.

Algunos procedimientos para proteger contra la corrosión son:

- Recubrimiento metálico y no metálico (pinturas industriales de origen orgánico y bituminoso).
 - Por empleo de inhibidores.
 - Por empleo de pasivadores
 - Protección catódica.- es utilizado en metales como: acero, cobre, plomo, latón, y aluminio.
- Material de tuberías y accesorios.- la mala calidad de los materiales depende la vida útil corta, las reparaciones defectuosas.

³ Control de fugas en redes de distribución de agua. Proyecto de desarrollo tecnológico de las instituciones de abastecimiento de agua potable y alcantarillado (DTIAPA). Lima-Peru. <http://www.pdfdownload.org/pdf2html/pdf2html.php?url=http%3A%2F%2Fwww.bvsde.paho.org%2Fbvsacd%2Fscan2%2F011985%2F011985-13.pdf&images=yes>

⁴ Control de fugas en redes de distribución de agua. Proyecto de desarrollo tecnológico de las instituciones de abastecimiento de agua potable y alcantarillado (DTIAPA). Lima-Peru. <http://www.pdfdownload.org/pdf2html/pdf2html.php?url=http%3A%2F%2Fwww.bvsde.paho.org%2Fbvsacd%2Fscan2%2F011985%2F011985-13.pdf&images=yes>



- Golpe de ariete.- “se debe a las presiones altas las cuales producen fallas en las tuberías principales y de servicio y, a la mala operación de válvulas razón por la cual debe ser realizada por personal especializado para impedir la formación de ondas de sobrepresión”⁵.
- Edad de la tubería.- la corrosión interna y externa y el tiempo hay mayor incidencia de fugas.
- Errores operacionales.- “presiones excesivas, cierre y apertura de válvulas demasiado rápido, golpe de ariete”⁶.
- Mano de obra.- “debido a trabajos defectuosos, por lo que es recomendable que se realice personal técnico para la instalación de la nueva tubería”⁷.
- Movimiento del suelo.- “en los suelos arcillosos que se expanden y contraen de acuerdo al contenido de humedad”⁸.

La importancia de las fugas depende de diversos factores como:

- Tamaño del agujero de la tubería,
- Dimensión de las fisuras,
- Presión del agua en el interior de las tuberías,
- Las fugas también se presentan en los tanques de almacenamiento debido a reboses de agua.

⁵ Control de fugas en redes de distribución de agua. Proyecto de desarrollo tecnológico de las instituciones de abastecimiento de agua potable y alcantarillado (DTIAPA). Lima-Perú. www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan2/018968/018968.pdf

⁶ Control de fugas en redes de distribución de agua. Proyecto de desarrollo tecnológico de las instituciones de abastecimiento de agua potable y alcantarillado (DTIAPA). Lima-Perú. www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan2/018968/018968.pdf

⁷ Control de fugas en redes de distribución de agua. Proyecto de desarrollo tecnológico de las instituciones de abastecimiento de agua potable y alcantarillado (DTIAPA). Lima-Perú. www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan2/018968/018968.pdf

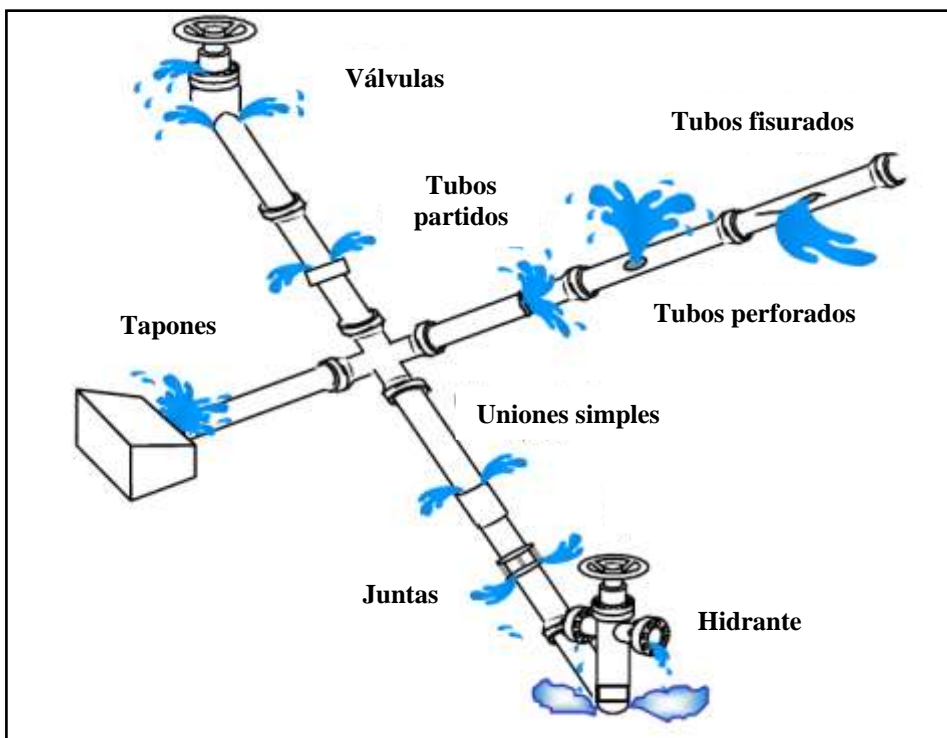
⁸ Control de fugas en redes de distribución de agua. Proyecto de desarrollo tecnológico de las instituciones de abastecimiento de agua potable y alcantarillado (DTIAPA). Lima-Perú. www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan2/018968/018968.pdf



2.3.5 Lugar de ocurrencia de las fugas

- a. Fugas en depósitos.- se debe a agrietamientos de las estructuras o el rebose de los niveles de agua. Son de gran magnitud, esporádicas y de corta duración. Para su disminución, se debe realizar inspecciones del estado físico de los tanques de almacenamiento y dar mantenimiento a las válvulas de control de los niveles de agua líneas.
- b. Fugas en conducciones, líneas principales y secundarias.- son producidas por corrosión, por cargas superficiales, instalación y material de fabricación defectuoso, y también por el golpe de ariete debido a cambios bruscos en la operación del sistema.

Figura 2.1. Fallas en tuberías principales



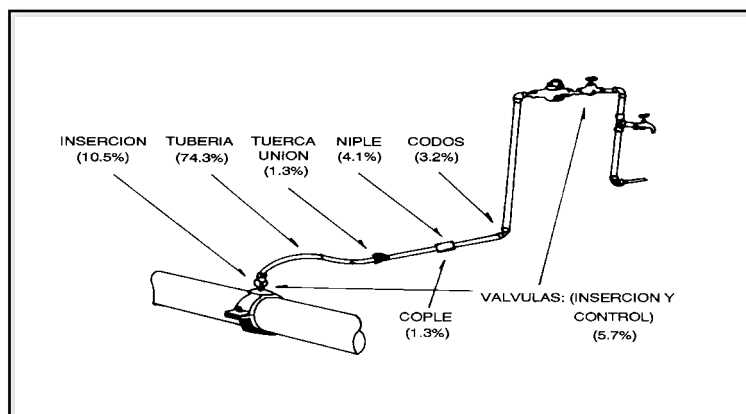
Fuente: Ortiz Bourguet Víctor. 2004. A.C. AF1-3 Estrategia y organización para la detección de fugas. Centro mexicano de capacitación en agua y saneamiento. México.

- c. Fugas en conexiones domiciliarias.- se deben a rajaduras, perforaciones, corte o piezas flojas. El mayor porcentaje de fugas se



presenta en conexiones domiciliarias, se debe a la antigüedad de las tuberías (BOURGUET 2004).

Figura 2.2.- Fugas en toma domiciliaria



Fuente: Ortiz Bourguet Víctor. 2004. A.C. AF1-3 Estrategia y organización para la detección de fugas. Centro mexicano de capacitación en agua y saneamiento. México.

- d. Fugas en el cuadro del medidor.- se originan por piezas flojas y falta de hermeticidad del micromedidor, son goteos.
- e. Fugas en cajas de válvulas.- Se producen por rotura de empaques o volantes de las válvulas. Las fugas pueden ocurrir en válvulas reductoras de presión, reguladoras de presión, de aire, etc.
- f. Fugas intradomiciliarias.- principalmente se presentan en los herrajes de los WC o bien en empaques de regaderas y llaves.

2.3.6 Nivel óptimo de pérdidas.

Para los organismos operadores de agua, las fugas son pérdidas económicas, pero existe un nivel mínimo aceptable (umbral mínimo de fugas) que físicamente se puede alcanzar, debido a que la ocurrencia de pérdidas es un proceso que no se puede controlar.

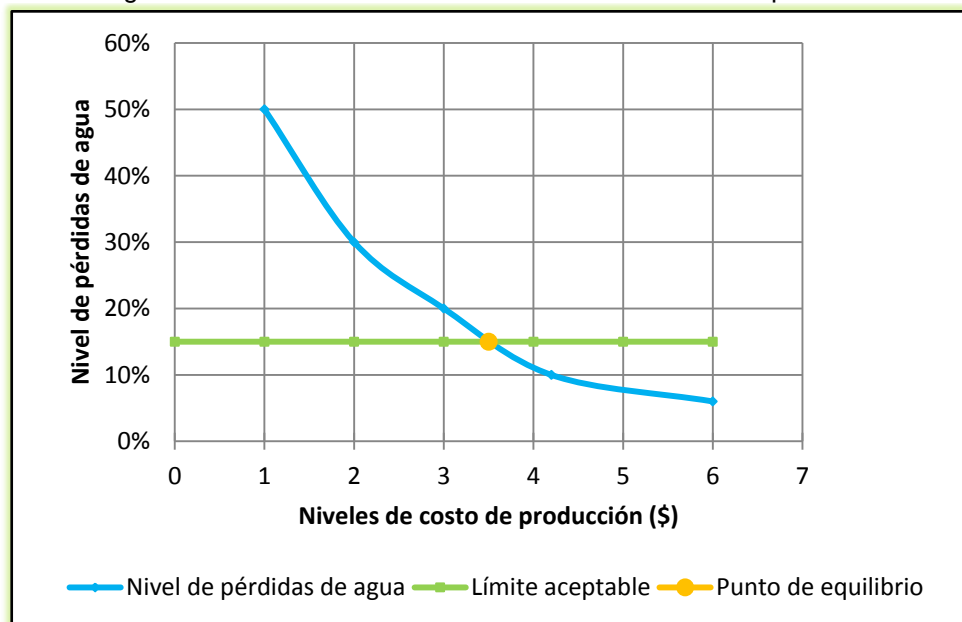
En la figura 2.3 muestra el proceso de recuperación de agua, recuperar un nivel de 50% al 30% tendría un costo inferior a recuperar 30% al 20% de agua.



Reparar o rehabilitar los daños en las tuberías debido a fugas o errores de contabilización puede ser conveniente y rentable hasta cierto punto.

Además el volumen de fugas representa dinero perdido por lo cual en el precio de cada m^3 de agua debe estar consignado el mantenimiento y reparación del sistema (BOURGUET 2004).

Figura 2.3. Curva de costo contra nivel de reducción de pérdidas



Fuente: Ortiz Bourguet Víctor. 2004. A.C. AF1-3 Estrategia y organización para la detección de fugas. Centro mexicano de capacitación en agua y saneamiento. México.

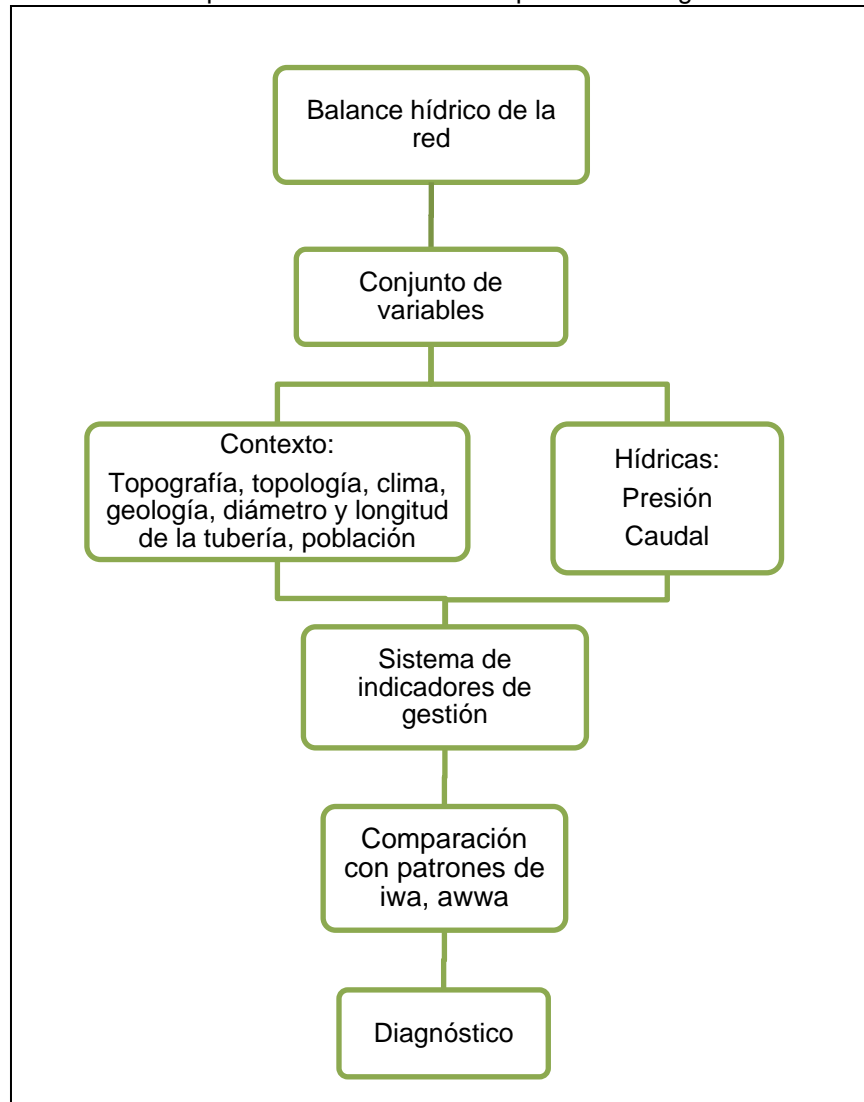
2.3.7 Reducción integral de pérdidas de agua.

La reducción integral de pérdidas de agua es un conjunto de actividades que inician con el cálculo de los componentes del balance hídrico de la red, del cual se obtendrá un conjunto de variables de contexto e hídricas de la red hidráulica, las que permitirán definir un sistema de indicadores de gestión, los que se compararán con patrones internacionales como la IWA, AWWA y finalmente con estos resultados se realiza el diagnóstico de pérdidas.



Mediante el diagnóstico de pérdidas de agua permitirá proponer acciones administrativas, técnicas y legales estableciendo una estructura apropiada en la empresa operadora para controlar y dar sustentabilidad a la reducción del volumen fugado en el sistema de distribución. (Esquema 2.1)

Esquema 2.1. Reducción de pérdidas de agua.



Fuente: La Autora.

El control de operación y de mantenimiento de la red ayudará a:

- Mantener las condiciones de calidad del agua suministrada (libre de contaminación e instrucción).



“POLÍTICAS PARA EL CONTROL ACTIVO DE FUGAS”

Autora: Glenda Marianela Medina Medina

- Mejorar la calidad del servicio de agua, sin presencia de racionamiento de agua.
- Ahorrar dinero en gastos de energía eléctrica (en caso de una estación de bombeo) y potabilización.
- Aumentar los ingresos por la venta de agua.

La reducción integral de pérdidas debe realizarse bajo una buena supervisión con el objetivo de asegurar que las acciones estén bien fundamentadas en datos reales y en un análisis preciso.

Capítulo III

Auditoría de agua para la gestión de
fugas



3. AUDITORÍA DE AGUA PARA LA GESTIÓN DE FUGAS

La auditoría es utilizada para analizar y evaluar los procedimientos utilizados para disminuir el volumen fugado en la red, verificar el buen funcionamiento de la red, conocer las debilidades o falencias y proponer un plan de acciones.

La frecuencia de la auditoría puede realizarse semestral y anualmente.

Dentro de los procedimientos están el diagnóstico mediante balance hídrico y el diagnóstico por indicadores de gestión (cálculo de los componentes del balance hídrico, establecer un sistema de indicadores de gestión con información del balance hídrico y con parámetros característicos de la red para compararlos con valores de referencia de empresas internacionales como IWA y AWWA).

La aplicación de auditorías permitirá que la utilidad de operación sea más eficiente cada año que pasa, puede tardar la obtención de datos reales y confiables para la reducción de pérdidas.

3.1 Diagnóstico de una red de abastecimiento de agua potable

Es el conjunto de actividades o procedimientos de recolección de información estadística y de campo del sistema de agua potable, para obtener una descripción técnica clara del estado físico de la red de distribución. En él se evalúan los volúmenes de agua que se entregan, volumen facturado y los volúmenes de pérdidas; escapes que se deben a fugas, errores de medición, errores de facturación, y de usos clandestinos, volumen de agua no facturada o no contabilizada. Además las causas y patrones de ocurrencia que las producen.

Se realiza a través del balance hídrico evaluando la eficiencia de la red mediante rendimientos, y con indicadores de gestión (I.G.), los que permiten la comparación con empresas internacionales como IWA, AWWA.

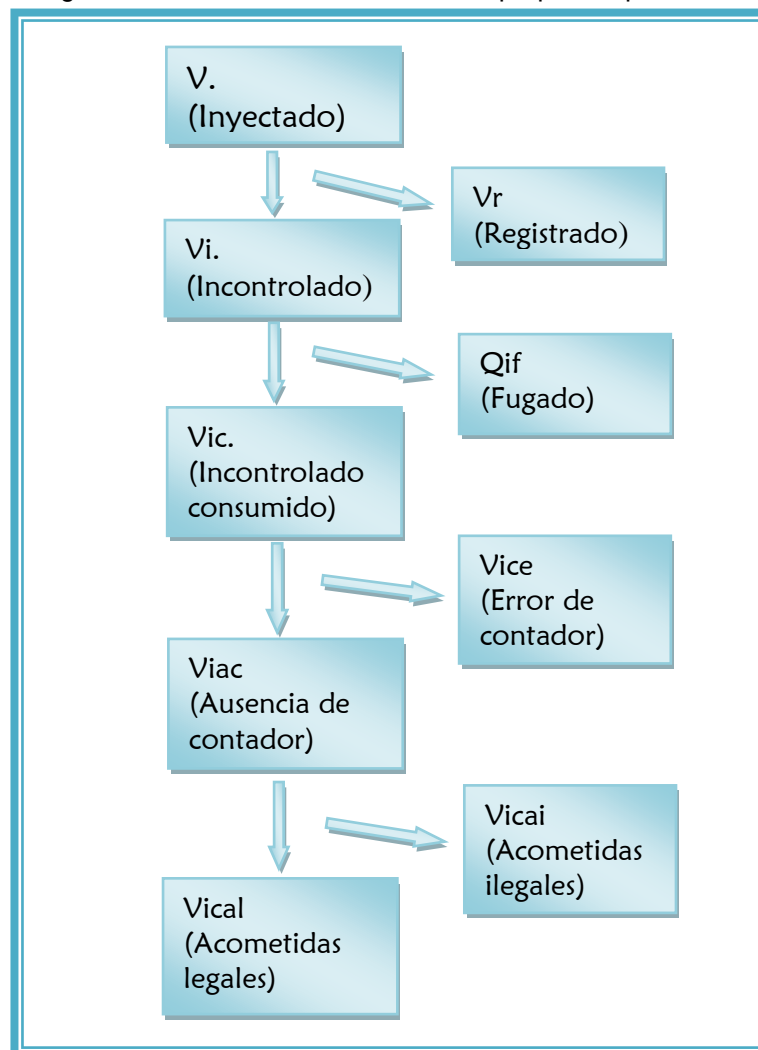


3.1.1 Diagnóstico mediante balance hídrico.

El diagnóstico por medio del balance hídrico permite conocer los diversos niveles y los destinos del agua inyectada, las pérdidas de agua (fugas) durante el periodo de estudio, sin embargo, carece de ubicación de la fuga; por lo que se requiere realizar detecciones de fuga, usando equipo acústico para su localización.

Se evalúa la eficiencia del sistema a través de rendimientos hídricos porcentuales.

Figura 3.1: Balance hídrico de una red propuesto por la IWA



Fuente: Auditoría de redes de distribución de agua. Enrique Cabrera, Jabier Almandoz, Francisco Arreguil, Jorge García – Serra.
<http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/2957/1/64article6.pdf>



3.1.1.1 Componentes del balance hídrico⁹

V.- Volumen de agua anual inyectado a la red cuyo origen puede ser del entorno natural extraída de un pozo, de un río o de una planta de tratamiento.

Vr.- Volumen registrado, medido por los contadores domiciliarios (medidores).

Vic.- Volumen incontrolado consumido o agua no contabilizada, del cual no se sabe cuál es su uso o destino final.

El agua no contabilizada, conocida por algunos organismos como agua no facturada, es la diferencia que existe entre los volúmenes de entrada al sistema y el consumo autorizado facturado. Además de abarcar las pérdidas reales y aparentes también se suman a este el consumo autorizado no facturado como: errores de medición, errores de facturación y usos no autorizados (instalaciones clandestinas).

El agua no contabilizada es por lo general del 20 al 30% del agua producida pero en sistemas viejos superan el 50% del agua inyectada.

Índice de agua no contabilizada

El índice de agua no contabilizada es un parámetro de control por medio del cual se puede conocer la relación entre los volúmenes del agua producida y consumida.

$$IANC = \left(1 - \frac{V_f}{V_i}\right) \times 100$$

[Ec. 01]

Donde:

V_f volumen facturado

V_i volumen inyectado

⁹ Auditoría de redes de distribución de agua. Enrique Cabrera, Jabier Almandoz, Francisco Arreguil, Jorge García – Serra.
<http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/2957/1/64article6.pdf>



Volumen estimado (Ve)

Corresponde al Volumen de agua que es utilizado por los abonados, autorizados por el operador, pero no medido por la Institución debido a:

- Casas cerradas.
- Medidores dañados o detenidos.
- Locales sin medidor.
- Usos operacionales (lavado y vaciado de redes, reservas).
- Usos de agua en hidrantes (incendio, aseo de parques, etc).

Vif.- Volumen incontrolado fugado, debido a pérdidas de la red.

$$VIF = \frac{\text{Volumen fugado}}{N. - \text{acometidas} \times \text{día}}$$

$$VIF = \frac{\text{Volumen fugado}}{\text{km red} \times \text{día}}$$

[Ec. 02]

Vica.- Volumen incontrolado consumido y no medido debido a la ausencia de contadores.

Vice.- Volumen incontrolado consumido y no registrado debido a errores de los contadores debido a la inexactitud de medidores por falta de mantenimiento,

Vical.- Volumen incontrolado consumido y no medido por ausencia de contadores, por acometida autorizada legal.

Vicai.- Volumen incontrolado consumido y no medido por ausencia de contadores, por acometida ilegal.

Vs.- Volumen suministrado es la suma entre el volumen registrado y el volumen incontrolado ó la diferencia entre el volumen inyectado y el volumen fugado.



$$V_s = V_r + V_i = V - V_{if}$$

[Ec. 03]

Tabla 3.1. Componentes del balance hídrico propuesto por la IWA

Volumen de entrada al sistema [m ³ /año]	Consumo Autorizado [m ³ /año]	Consumo autorizado facturado [m ³ /año]	Consumo facturado medido	Agua Facturada (Contabilizada) [m ³ /año]
	Consumo autorizado no facturado		Consumo no facturado medido	
			Consumo no facturado no medido	
Pérdidas de agua [m ³ /año]	Pérdidas aparentes		Consumo no autorizado	
			Errores de medición y de manejo de información	
		Pérdidas reales	Fugas en transporte y/o conducciones de distribución	
Fugas debido a derrames en depósitos de almacenamiento				
			Fugas en acometidas hasta el punto de medida	

Fuente: Mckenzie Ronnie, Lambert Allan. (2004) Best Practice Performance Indicators: A Practical Approach. IWA

http://www.pdfdownload.org/pdf2html/pdf2html.php?url=http%3A%2F%2Fwww.iwapublishing.com%2Fpdf%2FAugust_2004.pdf&images=yes

3.1.1.2 Rendimientos hídricos porcentuales de una red de agua

Los rendimientos es una propuesta mexicana por CEMCAS, permitirán evaluar la eficiencia de la red.

- Rendimiento de la red (η_r)

Es la relación que existe entre el volumen suministrado a los abonados de la empresa operadora y el volumen inyectado a la red.

El rendimiento de la red expresa el estado físico de la red y su modo de operación (control del nivel de presiones, etc.) (BORGUETT 2004).

$$\eta_r = \frac{Q_s}{Q}$$

[Ec. 04]



$$\eta_r > \eta_s$$

- **Rendimiento de la gestión técnico-administrativa (η_s)**

Relación entre el caudal registrado por la empresa operadora y el caudal suministrado.

Este rendimiento representa hasta qué punto se registra el caudal suministrado al conjunto de abonados.

$$\eta_s = \frac{Q_r}{Q_s} \quad [\text{Ec. 05}]$$

- **Rendimiento Global del sistema (η_g)**

El rendimiento global es el producto entre el rendimiento de red y el rendimiento de gestión técnico-administrativa, es decir es la relación que existe entre el caudal registrado y el caudal total inyectado.

$$\eta_g = \eta_s \times \eta_r = \frac{Q_r \times Q_s}{Q_s \times Q} = \frac{Q_r}{Q}$$

$$\eta_g = \frac{Q_r}{Q} \quad [\text{Ec. 06}]$$

“El rendimiento global del sistema representa la síntesis del abastecimiento como conjunto. Contempla, por tanto, el rendimiento de la propia red de distribución así como el de la misma gestión”¹⁰.

¹⁰ Auditoría de redes de distribución de agua. Enrique Cabrera, Jabier Almandoz, Francisco Arreguil, Jorge García – Serra.
<http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/2957/1/64article6.pdf>



Tabla 3.2. Calificación de la gestión de un abastecimiento en función de η_s

Rango η_g	Categorización
≥ 0.9	Excelente
0.8 – 0.9	Muy bueno
0.7 – 0.8	Bueno
0.6 – 0.7	Regular
0.5 - 0.6	Malo
≤ 0.5	Inaceptable

Fuente: OCHOA ALEJO, Leonel H. & BOURGUET ORTIZ, Víctor J. Introducción a la reducción integral de pérdidas de agua potable. Capítulo II Indicadores de evaluación del rendimiento hidráulico de una red. pág. 12

Jorge García Serra (Autoría de redes de distribución de agua) expone que es un indicador perverso porque a mayor consumo el rendimiento global es excelente, con un caudal de fugas iguales a un sistema de abastecimiento con menor consumo e igual volumen inyectado.

3.1.2 Diagnóstico mediante indicadores de gestión

Los indicadores de gestión son una herramienta que permite su comparación frente a empresas internacionales como el IWA, AWWA.

La elaboración de los indicadores de gestión es a partir de los resultados del balance hídrico y con algunos parámetros característicos del sistema como longitud y presión de la red, número de acometidas, población y tiempo de servicio.

Las ventajas que presenta la aplicación de indicadores de gestión son:

- Permite obtener una respuesta rápida y de calidad de las empresas operadoras, permitiendo una monitorización de resultados de la red.
- Facilita información clave para la comparación con otros sistemas de agua potable semejantes.



- Adopción de medidas correctivas, como la reubicación de personal para mejorar la productividad y modernizar las rutinas y procedimientos tradicionales.

El índice de fugas estructurales que fue lanzado en 1999, ha sido calculado en varios países pero tiene ciertas limitaciones para su aplicación en la comparación de los sistemas de agua como: 25 m c.a. para la presión, 5000 conexiones y 20 conexiones/Km.

Con los indicadores de gestión se puede realizar un benchmarking o comprobación métrica, pues se obtiene un valor que no dice que está bien o mal, solo es un número que puede ser mayor o menor que el de referencia.

En la tabla 3.3. se muestran indicadores de gestión de fugas que han sido propuestos y utilizados en diferentes sistemas de agua potable de diferentes países.

Tabla 3.3. Indicadores internacionales relacionando con la gestión de fugas

IWA/AWWA				
	Indicador	Variables	Ecuación	Unidad
I_1	Pérdidas de agua	Vi: Volumen anual inyectado al sistema (m^3) Vf: Volumen anual de agua facturado.	$I_1 = Vi - Vf$	$m^3/año$
I_2	Pérdidas reales por Km de tubería	Pr: Volumen de pérdidas reales anuales (L). Lr: Longitud total de la red (conducción + distribución).	$I_2 = \frac{Pr}{Lr}$	L/Km de red/día
		Pr: (m^3)		



“POLÍTICAS PARA EL CONTROL ACTIVO DE FUGAS”

Autora: Glenda Marianela Medina Medina

Continuación

I ₃	Pérdidas de agua por conexión	Pd: Periodo de diagnóstico (días) Nc: Número de conexiones domiciliarias.	$I_3 = \frac{\left(\frac{Pr \times 365}{Pd}\right)}{Nc}$	m ³ /conexión/año
I ₄	Volumen Incontrolado fugado (Pérdidas de agua)		$I_4 = \frac{Pr}{Nc \times día}$	L/conexión/día
I ₅	Pérdidas reales inevitables (Umbral mínimo de fugas)	Lr: Km Lc: Longitud total de conexiones domiciliarias (Km). P: Presión (m c.a.).	$I_5 = \left(A \times \frac{Lr}{Nc} + B + C \times \frac{Lc}{Nc}\right) \times P$ Donde: A=18; B= 0.80; C= 25°	L/conexión/día
I ₆	Índice de fugas estructurales	I1: Pérdidas reales. I2: Pérdidas reales inevitables	$I_6 = \frac{I_4}{I_5}$ I ₆ = 1 Muy bueno I ₆ > 5 Muy mejorable	
IMTA-México				
I ₇	Pérdidas aparentes	Pa: Pérdidas aparentes (m ³) Vs: volumen de entrada al sistema (m ³)	$I_7 = \frac{Pa}{Vs} \times 100$	%
IBNET – SEDAPAR				
I ₉	Agua facturada no	Vs: Volumen suministrado. Vf: Volumen facturado.	$I_8 = \frac{Vs - Vf}{Vs} \times 100$	%
I ₁₀	Agua facturada no	Vs: Volumen suministrado. Vf: Volumen facturado Lr: Longitud total de la red	$I_9 = \left(\frac{Vs - Vf}{365}\right) \times 10^6$	m ³ /K m/día



“POLÍTICAS PARA EL CONTROL ACTIVO DE FUGAS”

Autora: Glenda Marianela Medina Medina

Continuación

		(Conducción y distribución).		
I ₁₁	Agua facturada no	Vs: Volumen suministrado. Vf: Volumen facturado Nc: Número de conexiones	$I_{10} = \left(\frac{Vs - Vf}{\frac{Nc}{365}} \right) \times 1000$	m ³ /conexión/día
ADERASA				
I ₁₂	Porcentaje de pérdidas de agua	Vf: Volumen anual de agua facturada. Ad: total de agua despachada.	$I_{11} = \frac{Vf}{Ad} \times 100$	%
I ₁₄	Pérdidas por Km de red por día	VANF: Volumen anual de agua no facturada. Lr: longitud de la red en Km.	$I_{12} = \frac{VANF}{Lr}$	m ³ /Km
I ₁₅	Densidad de roturas en la red.	RRA: cantidad roturas en la red de agua incluyendo válvulas y accesorios en el año.	$I_{13} = \frac{RRA}{Lr}$	Nº/Km
I ₁₆	Densidad de roturas en conexiones	RCA: cantidad roturas en conexiones domiciliarias incluyendo válvulas y accesorios. Nc: Número de conexiones.	$I_{14} = \frac{RCA}{\left(\frac{Nc}{1000} \right)}$	Nº/1000 conexiones

Fuente: Manual de indicadores de gestión para agua potable y alcantarillado sanitario. SEDAPAR



Manual de indicadores de gestión para agua potable y alcantarillado sanitario. Asociación de entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas (ADERASA). http://www.aderasa.org/aa/img_upload/.../Manual_de_Benchmarking_de_ADERASA___marzo_2007.doc

Losses from water supply systems: standard terminology and recommended performance measures. IWA

Mckenzie Ronnie, Lambert Allan. (2004) Best Practice Performance Indicators: A Practical Approach. IWA

http://www.pdfdownload.org/pdf2html/pdf2html.php?url=http%3A%2F%2Fwww.iwapublishing.com%2Fpdf%2FAugust_2004.pdf&images=yes

Indicadores de Instituto Mexicano Tecnológico del Agua. IMTA. www.ualg.pt/5cigpa/comunicacoes/IBÉRICO_Indicadores_Completo.doc

○

La ecuación y los parámetros A, B, C están basados en el análisis estadístico de los datos internacionales, incluyendo 27 sistemas de abastecimiento de agua de 20 países.

3.2 Caso práctico.

El cálculo de los componentes del balance hídrico de la red de distribución, se detallan a continuación.

Para el cálculo del balance hídrico, caudal mínimo nocturno e indicadores de gestión se utilizó datos empleados por el Ing. Holger Benavides M.¹¹, proporcionados por la empresa EMAAP-Q de la ciudad de Quito del distrito hidrométrico Mirasol Bajo. (Anexo A)

3.2.1 Pasos para el cálculo del balance hídrico.

Primeramente se va a establecer el periodo de análisis, el que puede estar en un rango de tiempo de 6 meses a 1 año y se debe elegir una unidad de medida de volumen (litros ó metros cúbicos).

1. Volumen de entrada al sistema.

Cuantificar el volumen de agua inyectado en la red, o la suma respectiva de las diferentes captaciones durante el periodo de estudio.

¹¹ Docente investigador, Ingeniería Hidráulica en Saneamiento – Unidad de Ingeniería Civil, Geología y Minas - UTPL.



2. Consumo autorizado.

Es la suma del consumo autorizado facturado y autorizado no facturado.

a. Consumo autorizado facturado.

Se define como la suma entre el consumo facturado medido por contadores domiciliarios y el consumo facturado no medido.

- **Consumo facturado medido.**

Es la suma de los volúmenes mensuales consumidos por los usuarios, con medidor domiciliario, comercial, industrial y especial.

- **Consumo facturado no medido.**

Volumen consumido por abonados autorizados con daños en los contadores; estimación de volumen en viviendas abandonadas y por ausencia del contador domiciliario.

b. Consumo autorizado no facturado.

Se establece el consumo autorizado no facturado como la suma entre el consumo no facturado medido y el consumo no facturado no medido.

- **Consumo no facturado medido.**

Es el consumo utilizado para el aseo de calles, para operaciones de limpieza de la planta de tratamiento, reparación de tuberías

- Plantas de tratamiento.- es el volumen utilizados para limpieza de filtros, recipientes de sedimentación.
- Reparación de tuberías.- se considera el volumen de llenado y vaciado de la red cuando se realizan las reparaciones de tubería.
- Riego de áreas públicas.- volumen utilizado en parques, cementerios, jardines, campos deportivos.
- Escuelas.- volumen utilizado para usos sanitarios, limpieza y aseo.



- **Consumo no facturado no medido**

Es un volumen usado, pero no medido por la ausencia de contadores, por ejemplo en conexiones ilegales, suministro de tanqueros que toman clandestinamente en las noches de los hidrantes contra incendios, actividades contra incendios, para riego de áreas verdes de la ciudad como parques y cementerios.

3. Pérdidas de agua (aparentes y reales)

Se evalúa los componentes de las pérdidas aparentes y reales, se suman.

- **Pérdidas aparentes.**

Es el volumen debido a errores de medición, errores de facturación, usos no autorizados.

- **Imprecisión o error de medición**

Los errores de medición se presentan por la ausencia de mantenimiento en los contadores, o por medidores antiguos o dañados o por la mala lectura de los mismos.

La magnitud de este error puede variar entre 2% y 5% dependiendo del grado de mantenimiento preventivo, desgastes debido al funcionamiento y a la acción química del agua (corrosión e incrustación) y con el paso del tiempo estos van perdiendo la precisión de las lecturas.

Cálculo de errores en medidores:

- a. Obtención del % de exactitud es obtenido en un banco de prueba de medidores mediante una práctica que puede durar aproximadamente 2 horas y que consiste en tomar varias lecturas del volumen instantáneo en ambos medidores (medidor en uso y medidor verificador ultrasónico portátil).

$$\% \text{ exactitud: } \frac{V \text{ medidor verificador} - V \text{ medidor en uso}}{V \text{ medidor verificador}} \times 100$$

[Ec. 07]



- b. Se calcula el volumen errado de cada captación con la ecuación 10, se sumarán los volúmenes errados de cada una de las captaciones.

$$V. \text{ errado} = \left(\frac{V \text{ de agua producido} \times \% \text{ de exactitud}}{100} \right) \quad [\text{Ec. 08}]$$

Cambio de volumen en tanques de almacenamiento:

Es la diferencia que existe entre el volumen inicial y volumen final del o los tanques de almacenamiento durante el período de estudio.

$$Cambio \text{ de } V = V. \text{ inicial} - V. \text{ final} \quad [\text{Ec. 09}]$$

Pérdidas por evaporación en depósitos abiertos a la atmósfera

El volumen de esta pérdida es igual al área de la superficie por la lámina anual de evaporación.

$$P \text{ depósitos} = A_{\text{Depósito}} \times L_{\text{Evaporación}} \quad [\text{Ec. 10}]$$

- **Pérdidas reales**

Las pérdidas reales son las fugas que presenta la red hidráulica dentro del periodo de estudio. Existe dos tipos de fugas: comunicadas (visibles) y las no comunicadas (subterráneas); mediante aforos se conoce el caudal del primer tipo mediante el método volumétrico de aforo directo, que consiste en tomar el tiempo de llenado de un recipiente de volumen conocido. Expresan el gasto como una función de volumen sobre tiempo ($Q = V / t$) (Ec. de continuidad), y para las segundas estimaciones a base de un índice de fugas por Km de red (cuando se realiza investigaciones en sistemas similares). La similitud debe tener en cuenta aspectos como: edad de tuberías, presión, material de tuberías, condiciones del suelo.

Las pérdidas se presentan en:

- La captación hasta la planta de tratamiento (aducción).



- La transmisión de la planta de tratamiento a los tanques de almacenamiento.
- El sistema de distribución como reboses en los tanques de almacenamiento y/o estaciones de bombeo.
- Conexiones domiciliarias.

- **Fugas en transporte y conducción de distribución**

El volumen de fugas en tuberías principales y secundarias se considera en base a mediciones de consumos en la entrada de sectores y/o distritos hidrométricos. Considerando

- **Fugas y desbordamientos en transporte y/o depósitos de almacenamiento.**

Las pérdidas por derrames en tanques de almacenamiento y estaciones de bombeo en la red de distribución se deben básicamente al mal funcionamiento de válvulas, se presenta cuando la válvula de flotador falla. Debido a grietas estructurales existen filtraciones en los tanques y se lo mide cerrando las válvulas de entrada y salida midiendo el cambio de volumen a diferentes elevaciones.

- **Fugas en acometidas.**

Existen algunos procedimientos para determinar el gasto de la fuga: aforo volumétrico directo (volumen-tiempo), manguera-medidor.

El volumen de fugas reparadas durante el periodo de estudio desde su aparición hasta su reparación va hacer igual al gasto de cada fuga ocurrida-reparada y multiplicarlo por el tiempo de permanencia.

Mediante inspecciones visuales se puede eliminar las conexiones ilegales o clandestinas.

Capítulo IV

Actividades para la gestión de fugas



4. ACTIVIDADES PARA LA GESTIÓN DE FUGAS

En la figura 4.1. se muestran las cuatro actividades que propone el Water Loss Group de la IWA (International Water Association), para reducir el nivel pérdidas de agua de una red. La figura pequeña del centro representa las pérdidas inevitables reales anuales que caracteriza al sistema de agua potable por su bajo caudal, el cuadro más grande representa el volumen anual de pérdidas reales de una red, a medida que el sistema se deteriora, las fugas tenderán a aumentar si no son restringidas por las cuatro actividades.

- * Control activo de fugas.
- * Gestión de presiones.
- * Gestión de la infraestructura.
- * Tiempo de reparación menores

Figura 4.1. Actividades para la gestión de fugas



Fuente: Stuart Hamilton. Acoustic leakage detection. The IWA water loss task force. Water 21 - article no. 7.

4.1. Control activo de fugas

Para un adecuado control de fugas es necesario realizar medición y sectorización de la red, es un método para controlar, registrar y permitirá tomar decisiones que conduzcan a reducir y mantener un nivel bajo de fugas.



Además mediante la detección, localización y reparación de fugas se conocerá el tipo, las causas, el lugar de ocurrencia, tiempo de duración del escape físico de agua, el material de la tubería, obteniendo un historial de fugas en el sistema de abastecimiento de agua potable.

Acciones que se debe considerar para un nivel bajo de pérdidas:

- Inspecciones sanitarias visuales del sistema de distribución (tubería principal y secundaria, accesorios y conexiones).
- Medición de los distritos (Balance hídrico).
- Mediciones continuas o pausadas de flujos nocturnos.
- Mediciones a cortos periodos en cualquier momento del día.
- Colocación temporal de detectores de ruidos de fugas.

4.1.1. Importancia de la medición en una red de abastecimiento de agua.

La medición en un sistema de abastecimiento de agua es muy importante, permite conocer el volumen inyectado en la red (macromedición) y el volumen consumido por los usuarios (micromedición) realizado por medidores, con la finalidad de disponer de registros mensuales de caudal.

La macromedición y micromedición permite conocer el volumen de agua no contabilizada (ANC). El ANC es igual a la diferencia entre el volumen inyectado y el volumen facturado por consumo de los abonados del sistema de abastecimiento.

Macromedición.- es la medición de caudales entregados a la red de abastecimiento de agua a través de puntos de control, colocados en puntos específicos del sistema como se muestra en la figura 4.2.

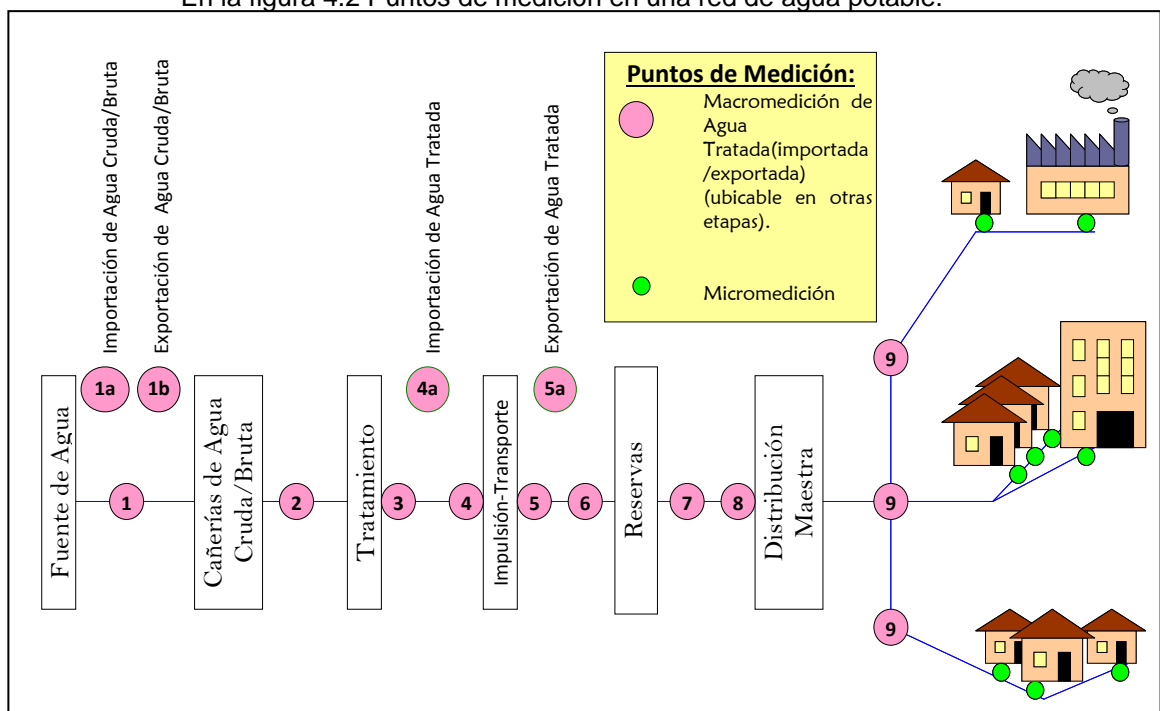
Micromedición.- es el volumen medido de agua consumido por la población, mediante lecturas mensuales de los medidores domiciliarios, de los cuales se clasifican en categorías como: residencial, comercial e industrial.



Esta actividad puede ser respaldada mediante acciones de soporte como son: supervisión, mantenimiento de medidores, verificación de medidores (laboratorio).

En la Norma Ex IEOS (Parte 7-1, literal 4.1.10) señala que: en la salida del tanque de almacenamiento se debe colocar un medidor domiciliario con una población de 5000 habitantes en la Sierra, y cuando la población es mayor a 5000 habitantes colocar un dispositivo de medida y registro conformada por un tubo venturi correspondiente registrador-totalizador de caudal.

En la figura 4.2 Puntos de medición en una red de agua potable.



Fuente: Manual de indicadores de gestión para agua potable y alcantarillado sanitario. ADERASA. MARZO 2007.

4.1.2. Sectorización de una red de abastecimiento de agua potable.

Sectorización de la red es limitarla o subdividirla en sectores y deben ser aislados entre sí, que dispongan de una o varias entradas. Cada entrada debe estar equipada con contadores para medir los consumos y presiones (contatenada con la figura 4.3).

La ventaja de sectorizar la red es que se conoce la curva de caudal de cada sector, y en especial el caudal mínimo nocturno que es medido entre las 2 y 4 de



la madrugada, ya que alguna variación de puede indicar alguna fuga o consumos exagerados de los abonados.

En la medición del caudal nocturno se debe considerar el ámbito social del sector ya que depende de las propiedades activas en horarios nocturnos, puede variar cada noche de la semana por la realización de eventos sociales.

4.1.2.1. Sector

Es la delimitación de la red, en el cual se incluyen distritos hidrométricos y/o subsectores, en los cuales se colocará nudos de control para la medición de caudales y presiones (Esquema 4.1).

4.1.2.2. Distrito hidrométrico

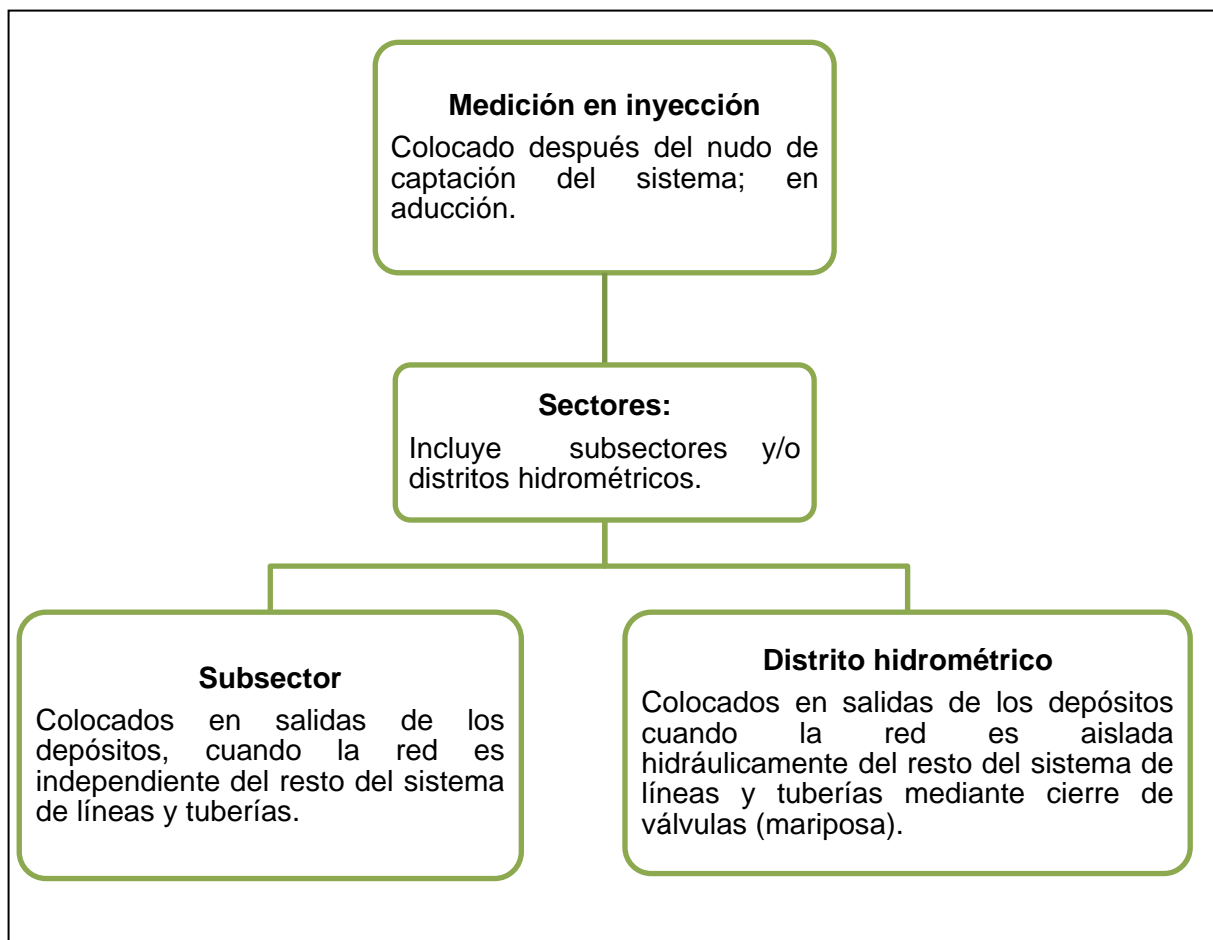
Un distrito hidrométrico es el aislamiento hidráulico de la red, por el cierre de válvulas que impedirán el paso de agua.

4.1.2.3. Subsector

Red mallada pequeña independiente del resto de la red.



Esquema 4.1. Medición y registro de los nudos de control en una red



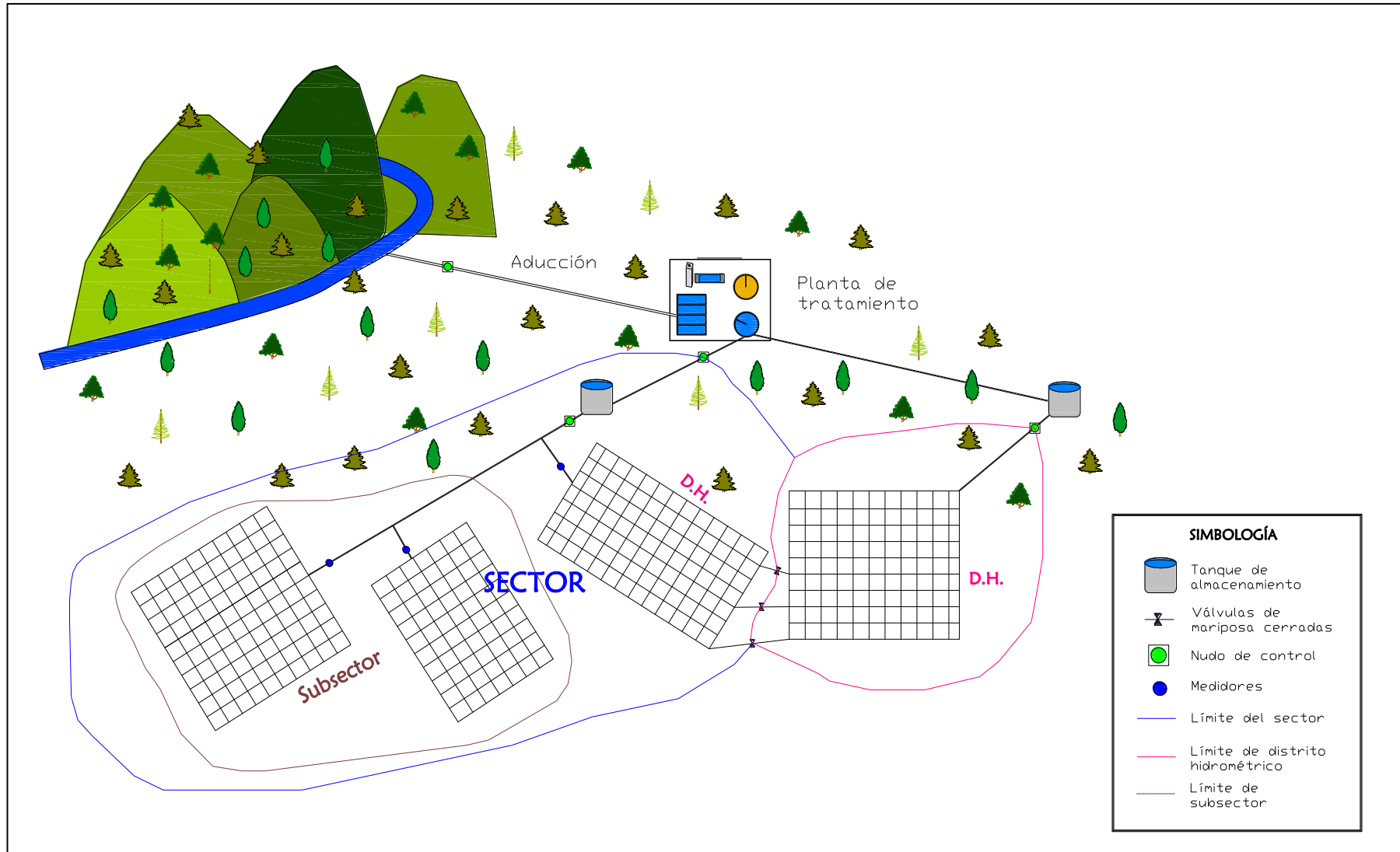
Fuente: Benavides M, Holger M. Apuntes personales



"POLÍTICAS PARA EL CONTROL ACTIVO DE FUGAS"

Autora: Glenda Marianela Medina Medina

Figura 4.3. Red sectorizada



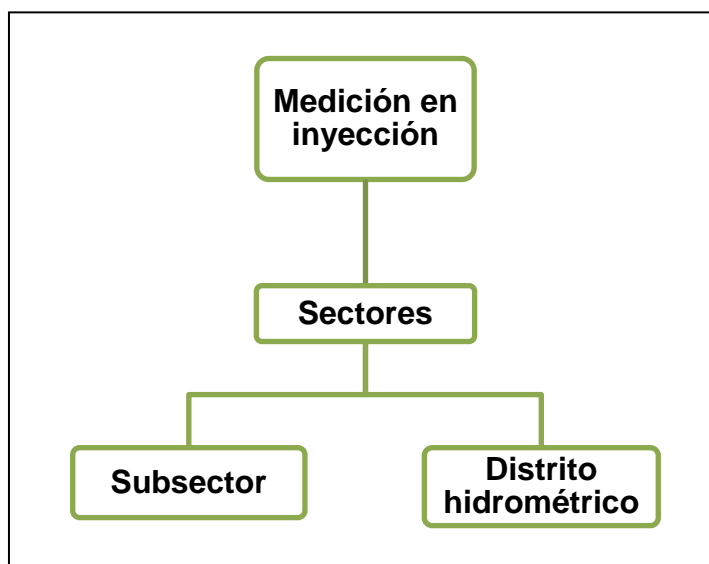
Fuente: La Autora.



Para la sectorización de una red se propone lo siguiente:

1. Actualizar planos y catastro de la red de distribución, debe constar longitud, material y diámetro de tuberías, condiciones de válvulas.
2. Digitalizar la red de distribución,
3. Limitar la red mediante sectores, se debe considerar demandas, número de usuarios, longitud de la red, número de acometidas para estructurar sectores homogéneos.
4. Ubicar los nudos de control y medición.- deben estar ubicados en la red de distribución de agua, en tanques de almacenamiento, salida y entrada (concatenar con el esquema 4.2 y la figura 4.3).

Esquema 4.2. Distribución del sistema de sectorización en una red para la ubicación de nudos de control.



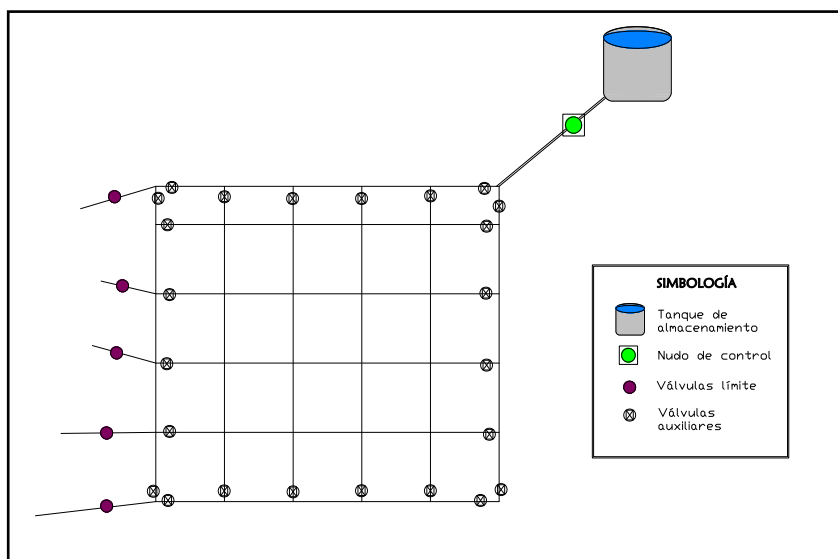
Fuente: Benavides M, Holger M. Apuntes personales

5. Herbert Farrer consultor a corto plazo de OPS/OMS-CEPIS (Lima- Perú) recomienda realizar inspecciones de campo para confirmar la información del sistema y el estado de las válvulas, para lo cual establece lo siguiente:



- Con planos de cada sector se verifica que las válvulas estén descubiertas, limpias y que operen adecuadamente; para su comprobación se las cierra y con un geófono o caudalímetro ultrasónico se comprueba que no circule agua.
- En caso de válvulas deterioradas se recomienda repararlas o cambiarlas por otras nuevas. Se deberá ir cerrando las válvulas escalonadamente lo que permitirá aislar los tramos del distrito hidrométrico (se cerrarán las válvulas límites o aquellas que aíslan completamente el DH, luego las válvulas auxiliares sea que una vez cerradas disminuye el caudal hasta que los tramos vayan quedando sin agua) Figura 4.4.

Figura 4.4. Distrito hidrométrico con válvulas de aislamiento (límite) y válvulas auxiliares



Fuente: La Autora

6. Marcar con colores en planos, SIG (sistema de información geográfica) y en el campo (en las aceras) la tubería que abastece el sector, y con diferente color la tubería de diámetro menor.
7. Determinar consumos por sector (curvas de consigna)



8. Calcular las pérdidas de agua mediante el balance hídrico.

4.1.3. Detección y localización de fugas

Los métodos de detección y localización se fundamentan en la intensidad y frecuencia del sonido de la fuga, para su ubicación utilizan instrumentos acústicos como: micrófonos de contacto, barras acústicas, geófonos, correlación acústica, micrófonos de suelo, fonómetros, etc.

4.1.3.1. Tipo de ruido de una fuga

El ruido originado por una fuga en tuberías enterradas es producido por el escape de agua a presión que genera vibraciones y “produce sonidos en un rango de frecuencia comprendido entre 350 y 2000 ciclos por segundo. Aunque el sonido puede mezclarse con los sonidos ambientales, que se encuentran dentro de un rango de 350 ciclos por segundo”¹².

Tres tipos de sonidos que son producidos por las fugas.

- a. La resonancia o vibración de la tubería producida por la salida del agua mediante el orificio, es el ruido más intenso.
- b. El ruido por el impacto del agua en el suelo o por la circulación del agua es más débil y es escuchado cuando se está muy cerca de la fuga,
- c. El agua impactando directamente sobre el suelo suena a modo de golpe o tintineo mientras que el flujo del agua por el suelo produce un sonido similar a un arroyo o una corriente de montaña.

4.1.3.2. Factores que afectan el sonido y frecuencia de las fugas

- Presión de agua en la tubería
- Material y diámetro de la tubería

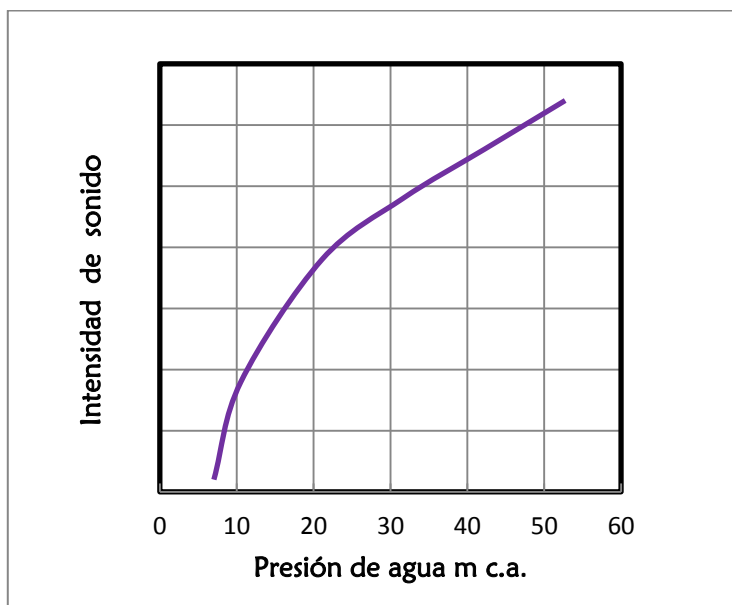
¹² Recomendaciones para detección y aforo de fugas en tomas domiciliarias. CEPIS. <http://www.cepis.org.pe/bvsair/e/repindex/repindex48/recomen/recomen.html>, consulta Febrero 2009, página activa.



- Tipo de suelo y grado de compactación
- Profundidad de la tubería
- Cubierta superficial.

La intensidad del sonido es directamente proporcional a la presión en el interior de la tubería.

Figura 4.5. Intensidad del sonido Vs. Presión de agua



Fuente: SubSurface Leak Detection, Inc. How to find Leaks.
http://www.subsurfaceleak.com/find_leaks.html

Conocer el material de la tubería es importante por ejemplo las tuberías metálicas como: hierro, cobre o acero producen una frecuencia de ruido más alta que las tuberías de PVC o de asbesto-cemento.

Las tuberías de diámetro grande generan un ruido menor originado por las fugas que las tuberías de diámetro menor, independientemente del material de la misma.

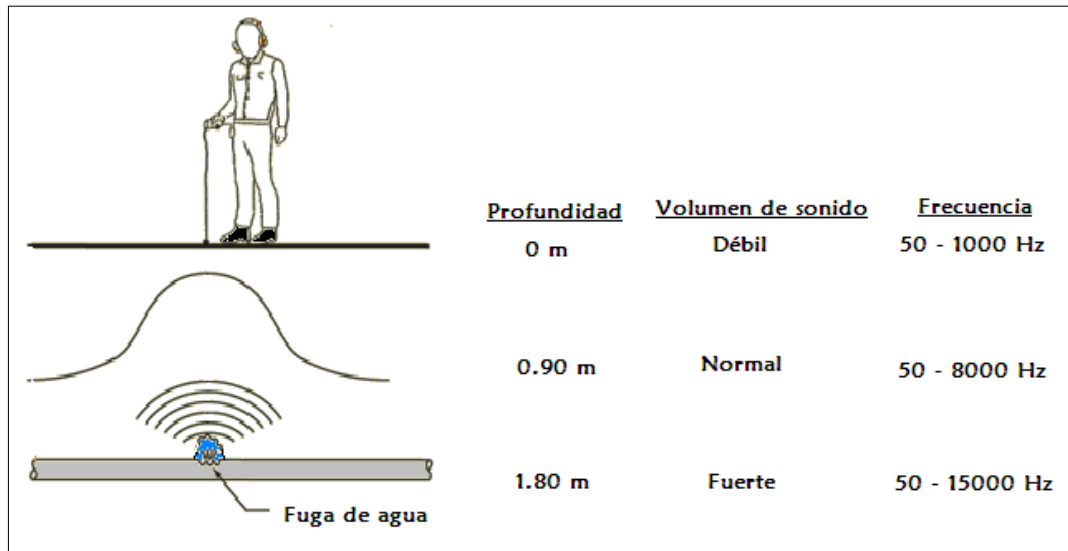
En suelos arenosos, suelos saturados de agua es difícil la transmisión del ruido, peor aún en un suelo compactado.



Se puede captar con más facilidad aquellos ruidos que se producen en tuberías enterradas hasta 1.25 m de profundidad.

Difícilmente se captan ruidos en tuberías enterradas más allá de los 2.0 m, a no ser que el agua que por ahí se trasiegan estén sometidas a elevadas presiones.

Figura 4.6. Profundidad de tubería Vs. Frecuencia de sonido de la fuga



Fuente: SubSurface Leak Detection, Inc. How to find Leaks.
http://www.subsurfaceleak.com/find_leaks.html

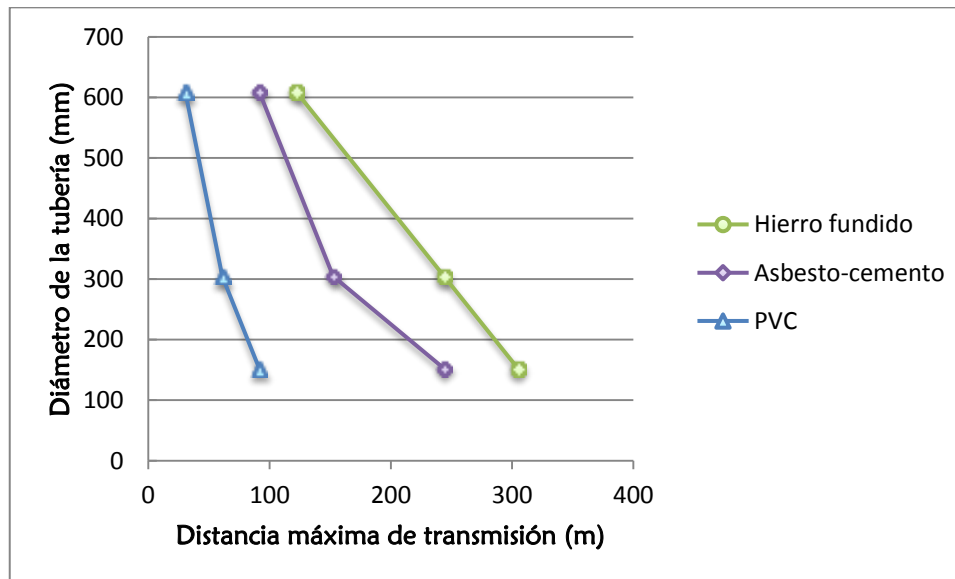
Las cubiertas superficiales duras suenan con la fuga de agua y el sonido puede ser detectado a una distancia de 2.5 m a 5.0 m, mientras en superficies como hierba o de suelo flojo el sonido es menor.

4.1.3.3. Transmisión del sonido a través de las paredes de la tubería.

La distancia a la que se puede detectar los sonidos de fugas está en función del material y del diámetro de la tubería. En el gráfico 4.7 se muestra la distancia de transmisión en diferentes materiales de tubería cuando la fuga tiene un caudal de $1.36 \text{ m}^3/\text{h}$ y con presión de 42 m c.a [60 psi].



Figura 4.7. Distancia máxima de transmisión del sonido de la fuga según el material de la tubería.



Fuente: SubSurface Leak Detection, Inc. How to find Leaks.
http://www.subsurfaceleak.com/find_leaks.html

4.1.4. Equipos para la detección y localización de fugas.

4.1.4.1. Por correlación acústica

Equipo electrónico que utiliza el principio de correlación acústica para la detección exacta de fugas. Transmite una onda acústica a través de la tubería de agua potable para indicar de manera precisa la distancia donde se encuentra la fuga.

Es el método más utilizado, por su precisión y por su notable insensibilidad a los ruidos ambientales, utilizado en redes de distribución con tuberías metálicas, también en tuberías plásticas bajo ciertas condiciones.

Para su aplicación es necesario que el ruido de la fuga sea registrado nítidamente por los sensores. El uso correcto del correlacionador da como resultado una presión notable en la localización de fugas.



Figura 4.8. Equipo de correlación acústica



Fuente: http://www.aguamarket.com/sql/productos/fotos/col_112.jpg

Principios de funcionamiento

El correlador acústico consta de dos sensores que van a estar en contacto con la tubería los cuales son los que captan el ruido, lo amplifica y lo transmite a la unidad central.

Las dos señales transmitidas por los sensores, se procesan en sus componentes de frecuencia, para desechar o eliminar la información que no es común (ruido por automóviles), aprovechando la información de la señal de los sensores que es transmitida a la unidad central calculará la distancia exacta de la fuga.¹³

Parámetros que se debe tener en cuenta para su aplicación

Para su realización se debe conocer previamente los siguientes parámetros:

- Tuberías bajo presión
- Tuberías libres de aire
- Velocidad del sonido
- Trazado exacto de las tuberías
- Tipo de material y diámetro de la tubería y su ubicación (en el caso de tuberías de materiales mixtos)

¹³ Correlador acústico controlado por PC, Multicorrelación. EATHISA
www.eathisa.com/dat/archivos/MAQ6000.pdf.



Esta exactitud permite que un servicio público ahorre dinero solamente retirando una sección pequeña de pavimento.

4.1.4.2. Geófono

Es un instrumento transmisor y amplificador de sonido de la fuga, utilizado para detectar ruidos subterráneos que se propagan en el suelo.

Formado por un micrófono que capta y recoge el sonido de la fuga luego lo transmite como una señal acústica a los auriculares y mediante un micro amperímetro para ser visualizado a través de un display digital el cual, representa el nivel del ruido. Los micrófonos son colocados en puntos de contacto remotos tales como válvulas, llaves de corte, hidrantes, medidores domiciliarios¹⁴.

El micrófono esta puesto en dos tipos de sondas: sonda de campana o micrófono de suelo y sonda de bastón o micrófono de contacto.

Para facilitar la audición del sonido, es conveniente cerrar temporalmente el paso vehicular en la calle, y que la presión en la toma no sea menor a 10 m c.a [1.0 Kg/cm²]. Cuando esto no sea posible, es preferible realizar la inspección nocturna (22h00 - 06h00), que es cuando se tienen mejores condiciones tanto de presión como de ruido ambiental mínimo.

Figura 4.9. Geófono



Fuente: http://www.iis-brunelleschi.it/assets/images/autogen/a_geofono.jpg

¹⁴ Resumido: <http://www.inspeccionestecnicas.es/geofono.htm>



El micrófono de contacto es usado para pre-localización y el micrófono de piso para localizar la fuga. Si el ruido es intenso o si no se localiza sobre la conexión considerada se debe comparar con el ruido de las otras conexiones pues la fuga puede estar en otro lugar, probablemente sobre la tubería distribuidora. Si es así será importante evaluar el ruido registrado con el contacto sobre las válvulas o hidrantes próximos. Luego el micrófono de piso determinará exactamente el lugar de la pérdida. En algunos casos es importante la utilización del correlacionador de fugas, para verificar con más exactitud la ubicación de la misma.

4.2. Gestión de la presión

La gestión de la presión en los sistemas de distribución de agua potable es una actividad clave para reducir pérdidas de agua y disminución de la frecuencia de la aparición de roturas en la red de distribución y conexiones domiciliarias.

La reducción de la presión influye en el caudal de agua que se pierde en una determinada fuga, como así también en el nivel de consumo de la población, a mayor presión mayores fugas y consumos.

La presión de operación máxima estática es de 70 m c.a., dinámica es 50 m c.a., y en la presión mínima es de 10 m c.a en puntos más desfavorables para el sistema de abastecimiento de agua y en el caso de abastecimiento mediante grifos públicos la presión se reduce a 5 m c.a. (Norma Ex – IEOS, Título VII)

4.2.1. Dispositivos para el control de presión

La gestión de presión es a menudo lograda por la instalación de válvulas de regulación (reguladoras de presión VRP y sostenedoras de presión VSP). La inadecuada operación y el mantenimiento deficiente han dado como resultado problemas en la operación del sistema, como en la brusca apertura y cierre de las válvulas dan origen a la presencia de aire dentro las cuales ocasionan el golpe de ariete y por lo tanto a nuevas fugas.



- Las válvulas reductoras de presión.- regulan la presión aguas abajo del punto de instalación. Actúa también como válvula de retención, impidiendo la circulación del agua en sentido contrario al programado.
- Válvulas sostenedoras de presión.- mantiene la presión aguas arriba de su punto de instalación. Cuando los consumos aumentan aguas abajo, la válvula va cerrando progresivamente para mantener la presión aguas arriba. También actúan como válvulas de retención.

Al escoger la válvula de regulación se debe considerar lo siguiente:

- Tamaño y textura del sistema de distribución,
- Consecuencias de deterioro,
- Costo de instalación y mantenimiento,
- Pronóstico de ahorro de agua,
- Número de consumidores (Presión mínima, regulaciones contra incendios)¹⁵.

4.2.2. Factores que se debe considerar en la gestión de la presión

Relación de la presión y el caudal de fuga

El caudal de fuga (Q_f) es proporcional al área de la fuga (A_f) y a la velocidad real de salida del fluido (V_f), que es directamente proporcional a la raíz cuadrada de la presión estática.

$$Q_f = C_D \times A_f \times \sqrt{2gh} \quad [\text{Ec. 01}]$$

Donde,

C_D : coeficiente de descarga del orificio está en función del régimen del flujo.

¹⁵ LAMBERT, Allan & MYERS, Stephe & TROW, Stuart. (1998) “Managing water leakage”. Economic and technical issues. Publicado y distribuido por Financial Times Energy. Gran Bretana



Las fugas pequeñas son sensibles al cambio de presión. Con la teoría FAVAD (Fixed And Variable Area Discharge paths, los trayectos de descarga de área fija y variable) se demuestra que la sección transversal de la fuga (agujeros, roturas en tubos, juntas o accesorios) varía con la presión.

La IWA y UKWIR representan la relación del caudal de fuga y la presión.

$$\frac{Q_f}{Q_o} = \left(\frac{P_f}{P_o}\right)^{N_1} \quad [\text{Ec. 02}]$$

Donde Q_f es el caudal de la fuga luego de la reducción de presión; Q_o es el caudal de fugas antes de la reducción de presión; P_f es la presión después de implementar su reducción; P_o es la presión antes de implementar su reducción; N_1 es el exponente que varía entre 0.5 y 1.5 pero puede alcanzar valores de hasta 2.5, el que depende del tipo de agujero o falla longitudinal y el material de la tubería.

Agujeros circulares:

- “En tuberías de PVC y metálicas N_1 es cercano a 0.5.
- En tuberías de polietileno (PE) y asbesto-cemento (AC) N_1 esta cerca de 0.5.
- Para agujeros pequeños, N_1 puede estar entre 0.5 y 1.0.
- En grupos de agujeros formados por la corrosión, N_1 puede ser mayor a 1.0

Fallas longitudinales:

- Para tuberías de PVC con bajas relaciones Longitud/Ancho (L/A), $N_1=0.5$
- Para tuberías de PVC a relaciones $L/A = 500$, $N_1=2.0$



- Para tuberías de AC, $N_1=0.8-1.0$ ¹⁶

Relación entre la presión y frecuencia de nuevas fugas

Mediante distritos hidrométricos en los sistemas de distribución y con la suficiente información la reducción de presión no sólo se presenta una disminución de los caudales de fuga, sino que también se reduce la aparición de nuevas fugas.

La relación entre la frecuencia de aparición de nuevas fugas y la presión de operación del sistema requiere que se conozca:

- La historia de roturas antes y después de la implementación del control de presiones por espacio de varios años.
- La edad, dimensiones, materiales y condiciones de operación de las tuberías en el tiempo.
- La distribución espacial de las roturas, la clasificación de las roturas en los componentes del sistema (redes matrices, redes de distribución, conexiones domiciliarias).
- La clasificación de las roturas de acuerdo a sus posibles causas.
- La frecuencia de tuberías reventadas (x km) aumentan cuando la presión excede a 40 m c.a.

La IWA desarrolló la siguiente expresión, para pronosticar la frecuencia de aparición de nuevas fugas en función de la presión de operación:

$$\frac{R_1}{R_0} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N_2} \quad [\text{Ec. 03}]$$

Donde R_1 es la frecuencia de roturas después de la reducción de la presión y R_0 antes de la reducción de la presión, N_2 es un exponente que varía entre 0.5 y 6.5.

¹⁶ CONTRERAS GARZÓN, Fabio y THORNTON, Julián. (2006) “Influencia de la presión en las pérdidas de agua en sistemas de distribución”. Asociación Interamericana de ingeniería sanitaria y ambiental-AIDIS. XXX Congreso interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental. Uruguay.



Los valores del exponente N_2 representa reducciones importantes en la frecuencia de aparición de nuevas roturas.

El valor de N_2 (tabla 4.1) se determinó mediante varios análisis realizados en sistemas de abastecimiento de Australia, Reino Unido e Italia.

Tabla 4.1 Valores del exponente N_2 (Thornton y Lambert, 2005)

País	Sistema	N^2
Reino Unido	UKWIR	> 0.5
Australia	Brisbane – Sector piloto	0.5
	Valle Yarra – Sector piloto D	0.64
	Valle Yarra – Sector piloto B	0.68
	Valle Yarra – Sector piloto C	0.91
	Valle Yarra – Sector piloto A	1.55
Reino Unido	Welsh Water, redes matrices	3.0
Australia	Gold Coast – Sector piloto, domiciliarias	4.9
	Gold Coast – Sector piloto, redes matrices	6.3
Italia	Turin	6.5

Fuente: CONTRERAS GARZÓN, Fabio y THORNTON, Julián. (2006) “Influencia de la presión en las pérdidas de agua en sistemas de distribución”. Asociación Interamericana de ingeniería sanitaria y ambiental-AIDIS. XXX Congreso interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental. Uruguay.

4.3. Gestión de la infraestructura

4.3.1. Mantenimiento y rehabilitación

El mantenimiento consiste en actividades para la reparación ágil, acorde a las necesidades del sistema. Se deberá realizar mantenimiento en válvulas, tuberías, conexiones domiciliarias, acometidas y en los aparatos para la detección y localización de fugas, herramientas que son utilizadas para la rehabilitación y reparación de fugas.



La infraestructura de cada red de distribución requiere mantenimiento, actualización y renovación. Si son diseñados con un periodo de vida útil de 25 años, se debería 4% de la infraestructura sea renovada cada año.

El permanente y correcto mantenimiento del sistema de agua potable, mediante inspecciones de los componentes de la red garantiza un menor volumen de fugas debido a reboses, válvulas deterioradas, medidores defectuosos y fisuras en los reservorios para dar lugar a filtraciones.

La renovación de tuberías es a menudo usada, para reducir el volumen de pérdidas anuales, pero puede ser engañoso debido al cambio de tuberías en tramos que no es necesario, esto implica costos altos e innecesarios en la red.

“Los medidores domiciliarios tienen un tiempo de vida útil de 5 a 8 años”¹⁷, lapso de tiempo que la confiabilidad de registros es buena con errores máximos permisibles de +/- 5% para el caudal mínimo y +/- 2% para los caudales transitorios y máximos, luego de ese tiempo si no hay un adecuado mantenimiento preventivo los datos serán erróneos.

El mantenimiento correctivo: que tiene lugar luego que ocurre una falla o avería, es decir, sólo se actúa cuando aparece el problema.

El mantenimiento preventivo: se realiza en forma planificada antes de que ocurra una falla o avería, y se efectúa bajo condiciones controladas, lo cual garantiza mayor vida útil del sistema.

Para los procesos de limpieza y desinfección de la red se deberá comunicar a los usuarios que no dispondrán del servicio durante la realización de estas tareas, lo cual se procederá al cierre de las válvulas de paso de las conexiones domiciliarias. Las actividades de limpieza de la red se deben realizar en horas que no cause incomodidad al usuario.

¹⁷ Resumido: www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan3/024553.pdf
https://basedoc.superservicios.gov.co/basedoc/notindexed/2005/CTO_SSPD_0000021_2006.doc



Tabla 4.2. Actividades de mantenimiento de la red de abastecimiento

CHECK LIST		
ACTIVIDAD	SI	NO
<ul style="list-style-type: none">• Limpieza exterior de captación, planta de tratamiento, tanques de almacenamiento, cámaras de rompe presión.		
<ul style="list-style-type: none">• Inspecciones de campo, verificar el buen funcionamiento de los contadores en nudos de control, caso contrario ajustarlo o sustituirlos.		
<ul style="list-style-type: none">• Reparación o renovación de la tubería en caso de presentar fugas debido a material deteriorado. etc.		
Mantenimiento en cámaras de rompe presión:		
<ul style="list-style-type: none">• Abrir las tapas y revisar el estado de las paredes interiores y los accesorios.		
<ul style="list-style-type: none">• Limpiar las basuras del piso, paredes y accesorios.		
<ul style="list-style-type: none">• Limpiar los accesorios y las paredes con la solución de hipoclorito de calcio.		
<ul style="list-style-type: none">• Con la solución y un trapo frotar los accesorios y las paredes.		
<ul style="list-style-type: none">• Eliminar los restos de cloro y dejar que el agua salga por la tubería de limpia.		
Desinfección de la tubería utilizando la solución de hipoclorito		
<ul style="list-style-type: none">• Abrir la válvula de salida del reservorio		
<ul style="list-style-type: none">• Abrir las válvulas de purga, para que la tubería se llene de agua clorada e inmediatamente cerrarlas.		
<ul style="list-style-type: none">• Dejar actuar la solución durante cuatro horas.		
<ul style="list-style-type: none">• Abrir las válvulas de purga para el vaciado de la solución.		
<ul style="list-style-type: none">• Abrir la válvula de salida del reservorio e ingresar agua a la red de distribución.		
<ul style="list-style-type: none">• Cuando no se perciba olor a cloro se pondrá a servicio la red.		



Continuación

<ul style="list-style-type: none">• Abrir las válvulas de paso de las instalaciones domiciliarias.		
Mantenimiento de válvulas:		
<ul style="list-style-type: none">• Realizar inspecciones observando si hay filtraciones, destrucciones externas, empozamiento alrededores de ellas, tierra acumulada sobre las cajas, candados o elementos de cierre en mal estado.		
<ul style="list-style-type: none">• Revisar su funcionamiento, haciendo girar lentamente; evitando la presencia del golpe de ariete.		
<ul style="list-style-type: none">• Abrir y cerrar totalmente cada válvula varias veces.		
<ul style="list-style-type: none">• En caso de la presencia de fugas, debido a que se aflojado la contratuerca, se debe ajustar y; en caso de desgaste cambiarla.		
<ul style="list-style-type: none">• Para facilitar su manejo se debe colocar kerosene o aceite de baja viscosidad entre el vástago y la contratuerca superior.		
<ul style="list-style-type: none">• Pintar con pintura anticorrosiva las válvulas.		
<ul style="list-style-type: none">• Al mes limpiar y revisar las cajas de válvulas e inspeccionar las vías en que se encuentra enterrada la red de distribución, con el fin de detectar fugas u otras anomalías.		

Fuente: La Autora.

4.3.2. Condiciones de la infraestructura

La mayoría de las redes de distribución están conformadas por diferentes tipos de materiales de la tubería, pero en muchos casos la mezcla de materiales es necesaria.

Algunos aspectos claves para determinar las condiciones de la infraestructura de la red de distribución son:

- Tipo de material de la tubería y condiciones del suelo.
- Personal capacitado para la colocación de tubería.
- Mantenimiento y reparación de tuberías y accesorios.



- Gestión de la presión.

4.4. Tiempo de reparación de fugas

Lapso mínimo de tiempo que se demora la cuadrilla en la reparación luego de ser reportada por usuarios o por cuadrilla de detección y localización de fugas.

Capítulo V

Políticas para la gestión de fugas



5. POLÍTICAS PARA LA GESTIÓN DE FUGAS.

Esta política está dirigida a empresas operadoras de agua potable de una ciudad, para el manejo y control adecuado del elemento vital de la vida “el agua”, realizando actividades de detección, localización, rehabilitación y reparación de fugas, calibración y mantenimiento de la red y de medidores, identificación de usos no autorizados (conexiones clandestinas), regulación administrativa.

La reducción de pérdidas es un proceso dinámico que se lo realiza en el tiempo y espacio, dichas pérdidas son debido a desconocimiento de técnicas para su solución, ausencia de financiamiento, errores de estimación y falta de personal capacitado.

Permitirá conocer el estado real de la red con indicadores de rendimiento, con el balance de agua se sabrá los volúmenes de pérdidas reales (fugas) y aparentes. Para la reducción de pérdidas en el sistema es necesario contar con un mantenimiento preventivo de la infraestructura y accesorios del sistema de agua potable.

5.1. Información básica de la red:

- Datos de topografía.
- Topología de la red.
- Catastro del sistema de agua potable (longitud, diámetro, material de la tubería, ubicación de válvulas).
- Catastro de usuarios (usuarios con o sin medidores domiciliarios residenciales, comerciales e industriales realizado mediante inspecciones sanitarias visuales).
- Volumen de agua en captaciones.
- Volumen de agua distribuido.
- Volumen facturado por consumo de sus usuarios.
- Población servida.



5.2. Acciones para la reducción de pérdidas de agua.

A continuación se presentan algunos criterios para reducir los niveles de pérdidas una red de abastecimiento de agua.

1. Sectorización de la red.

La sectorización de la red permite delimitar físicamente y aislar tramos de tuberías mediante válvulas de seccionamiento, para tener un control de la red hidráulica, por medio de medición de agua fugada, reducción de fugas con un control de presiones, control activo de fugas y con ayuda de softwares computacionales (Epanet) simule el comportamiento de la red.

Se realiza la sectorización por medio de sectores, de la cual se derivan distritos hidrométricos y subsectores.

2. Macromedición.

La macromedición permite conocer el volumen de agua inyectada en la red, y mediante la ubicación de nudos de control en la red de distribución de agua se conocerán registros de presión y volúmenes de agua inyectados en el abastecimiento, planta de planteamiento, tanques de almacenamiento y sectores y/o distritos hidrométricos.

3. Micromedición.

La micromedición permitirá garantizar registros confiables de consumos por los usuarios de la empresa operadora, además es un factor importante para el cálculo del balance hídrico de la red de distribución ya que permite conocer el volumen facturado por la empresa.



4. Diagnóstico de la red mediante balance hídrico.

El diagnóstico de la red es un conjunto de actividades que permite a las empresas operadoras conocer el estado de la red, el volumen de pérdidas reales y aparentes.

El volumen de agua no contabilizada, y por tanto la pérdida económica por dicho volumen por la ausencia de medición.

Para el desarrollo del diagnóstico se debe considerar lo siguiente:

- Longitud total del sistema, conformada por la tubería de conducción y distribución del agua en Km (L_m)
- Número de conexiones (N_c)
- Densidad de conexiones D_c (# de conexiones/Km de red).- Es la relación que existe entre el número de conexiones que abastece el sistema y la longitud total de la red.

$$D_c = \frac{\text{Número de conexiones}}{\text{Longitud total de la red}}$$

[Ec. 01]

- Porcentaje del tiempo de medición de presión durante un año (T)
- Presión de operación (P)
- Población servida (P_s)

Una vez obtenidos los datos anteriores se procede al cálculo de pérdidas inevitables del sistema, las cuales se dan en las tuberías, conexiones y en acometidas.

a. Pérdidas inevitables reales anuales (UARL):

El nivel inevitable de fugas es la sumatoria de las fugas muy pequeñas indetectables en la red, debido a su bajo volumen de caudal, las que no han podido ser detectadas por inspecciones visuales o acústicas en tuberías, conexiones y acometidas.



$$UARL = \left(A \times \frac{Lr}{Nc} + B + C \times \frac{Lc}{Nc} \right) \times P \quad [Ec. 02]$$

Unidades:

Lr_ Longitud de la red de distribución (Km)

P_ m c.a

T_ días

b. Balance hídrico

El cálculo del balance hídrico se lo detalla en el capítulo 3 sección 3.2.

Para su realización se debe considerar lo siguiente:

- a. Periodo del diagnóstico
- b. Unidad de medida (L, m³)
- c. Volumen inyectado en el sistema
- d. Componentes de consumo medido y no medido pero autorizado
- e. Componentes de pérdidas de agua (m³)

$$Pa = V_{inyectado} - V_{facturado} \quad [Ec. 03]$$

Pérdidas reales anuales (ARL) (m³)

$$ARL = Pa - P_{aparentes} \quad [Ec. 04]$$

- f. Rendimiento de indicadores de funcionamiento del sistema

Pérdidas reales anuales por conexión (CARL)

$$CARL = \frac{ARL \times 10^6}{\left(Nc \times \frac{T}{100} \times 365 \right)} = (L/conexión/día) \quad [Ec. 05]$$

Índice de fugas estructurales (IFE)

$$IFE = \frac{CARL}{UARL} \quad [Ec. 06]$$

Agua no facturada

- g. Rendimiento de indicadores financieros:



5. Reducción de pérdidas.

La reducción de pérdidas se puntualiza en procedimientos y equipos para la detección, localización, rehabilitación y reparación de fugas no visibles, y la realización de inspecciones para comprobar el estado físico de la red.

Dentro de los equipos para la reducción de pérdidas están: micrófonos de contacto, barras acústicas, correlador acústicos, geófonos mediante la escucha de ruidos provocados por las fugas.

Además se debe contar con recursos humanos para el desarrollo de estas actividades, el operador de estos instrumentos debe estar capacitado para el uso adecuado, tener experiencia en escuchar los ruidos provocados por los escapes de agua. Los instrumentos para detectar y localizar fugas se detalla en el capítulo 4 y las actividades desarrolladas por la cuadrillas en el manual técnico para la detección localización y reparación de fugas capítulo 6.

6. Rehabilitación y reparación de fugas

La rehabilitación y reparación de fugas se realiza luego de la detección y localización del escape físico de agua, actividad que se ejecuta cuando la tubería, medidores, válvulas, conexiones presenta fallas pequeñas debido a rotura de empaques, pequeñas grietas; para fallas grandes se requiere de reparación lo cual implica el cambio de tubería de cierto tramo de la red, actividad que será desarrollada por la cuadrilla respectiva.

Para evitar la presencia de fugas cuando se realiza el reemplazo de tuberías se debe considerar:

- Seleccionar el material de la tubería. Por ejemplo, las tuberías de hierro y acero deben ser tratados contra la corrosión.
- La calidad de las conexiones debido a mano de obra.
- La protección contra la corrosión. Se aplica tanto para tuberías como a las conexiones. Se debe verificar que el material de relleno no afecte la capa de protección.
- Gestión de la presión

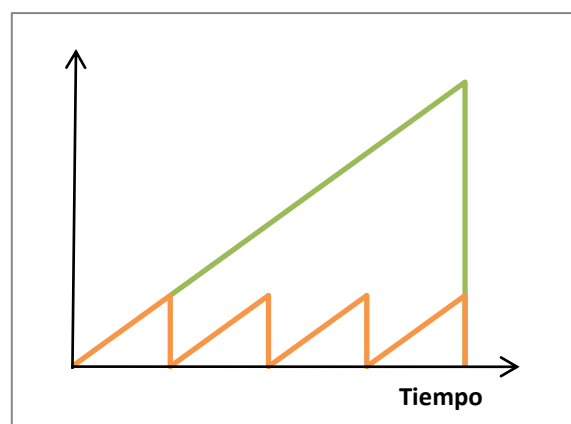


- Elección del método de instalación. Se debe encontrar un método económico y eficaz. Se debe verificar la estabilidad del suelo; las zonas inestables y sujetas al movimiento del suelo requieren estructuras costosas.
- La actualización del mapa de las instalaciones. Actividad que se debe realizar durante la construcción y luego de cada reparación. El mapa debería tener una base de datos como los daños y reparaciones, así como información que puede ayudar para tomar decisiones rápidas y eficaces.
- Personal calificado. Para la construcción de la red de distribución de agua.

7. Mantenimiento preventivo de la red de abastecimiento de agua potable.

Toda empresa de agua debe contar con actividades para el mantenimiento preventivo de la red con el fin de evitar grandes catástrofes por descuidos de los dirigentes de la empresa operadora, falta de financiamiento, personal incompetente. En el capítulo 4 se detallan actividades para el mantenimiento de la red en la tabla 4.2.

En la figura se 5.1 se interpreta que se debe realizar actividades constantes de mantenimiento preventivo de la red para obtener volúmenes bajos de agua fugada y no esperar a que se cumpla el tiempo para la cual fue diseñada para tomar medidas de mantenimiento, lo cual pueden ser costosas y la recuperación de la red puede durar mucho tiempo.



Fuente: Benavides M. Holger. (2009) Detección de fugas por flujos nocturnos. Universidad Técnica Particular de Loja. Loja – Ecuador.

Capítulo VI

Manual técnico para la detección,
localización y reparación de fugas



6. MANUAL TÉCNICO PARA LA DETECCIÓN, LOCALIZACIÓN Y REPARACIÓN DE FUGAS.

Con el presente manual se desea brindar a empresas operadoras de agua, una herramienta de apoyo y guía para el desarrollo de actividades de detección, localización y reparación de fugas realizadas por las respectivas cuadrillas y supervisadas por el jefe de cuadrilla, logrando la disminución de volumen perdido por fugas en la red.

Permitirá la elaboración de informes diarios realizados por el jefe de cuadrilla, para obtener un historial de fugas en el tiempo, conociendo el caudal fugado, tipo de material, duración, ubicación de la fuga, factores que la producen.

6.1. Importancia

En la red de agua es importante realizar actividades de detección, localización y reparación para minimizar el volumen de fugas.

La detección y localización de fugas mediante equipos acústicos permiten conocer la ubicación de la fugas en tuberías enterradas. Es importante que el geofonador tenga experiencia y un buen oído ya que son herramientas fundamentales para la evaluación del sonido del escape de agua.

La reparación de la fuga debe ser inmediata debido a motivos sanitarios, porque la fuga puede ser un punto de entrada de contaminación a la red; por seguridad, el agua desperdiciada puede dañar a propiedades aledañas.

6.2. Recursos humanos

Para la detección, localización y reparación de fugas, es necesaria la participación del usuario y el personal idóneo para el desarrollo de las actividades correspondientes.



El personal que esta implicado en el desarrollo de las actividades para la detección, localización y reparación de fugas es el siguiente:

- Jefe de departamento
- Jefe de cuadrilla
- Cuadrilla de detección y localización de fugas.- Geofonador, Fontanero, Chofer, Ingeniero auxiliar
- Cuadrilla de reparación de fugas.- Operario de válvulas, Operador de maquinaria (retroexcavadora, y cortadora de concreto), Peón y Chofer
- Usuarios
- Secretario

Jefe del departamento.- Ingeniero civil, capaz de coordinar, controlar y supervisar las actividades de detección, localización y reparación de fugas con el apoyo de los usuarios.

Jefe de cuadrilla.- Es la persona encargada asignar tareas otorgadas por el jefe del departamento y de supervisar los trabajos realizados por las cuadrilla para la elaboración del informe diario.

Cuadrilla de detección y localización de fugas.- Esta cuadrilla esta designada a la detección y localización de fugas mediante instrumentos acústicos (geófono, correlacionador acústico), está conformada por: 2 geofonadores u operarios, un fontanero y un chofer.

Se necesita de dos cuadrillas una en el día y la segunda en la noche, es importante que se alternen las actividades en forma rotativa, con una frecuencia semanal.

La cuadrillas deben tener siempre un plano de la red de distribución con los puntos de acceso como: medidores, conexión domiciliaria, hidrantes, llaves de



vereda, válvulas de la ruta a ser analizada para la ubicando las posibles fugas.

Cuadrilla de reparación de fugas.- El personal de esta cuadrilla realiza actividades de reparación de daños en tuberías, válvulas y en conexiones domiciliarias, que son comunicadas por la secretaria.

Componentes de la cuadrilla para fugas en acometida domiciliaria, medidores o válvulas:

- 2 Peones.
- 1 Chofer para el traslado al lugar de trabajo.
- 1 Operador de válvulas.

Componentes de la cuadrilla para fugas en tubería de la red:

- 1 Operador de maquinaria para la apertura de la zanja de la tubería.
- 1 Operador de maquinaria cortadora.
- 2 Peones.
- 1 Operador de válvulas.
- 1 Chofer para el traslado al lugar de trabajo.

Usuarios.- El usuario tiene la obligación de reportar a la secretaria, vía telefonica o personal de la presencia de alguna fuga. Proporcionando información de ubicación de la fuga (Barrio, calles) y el tiempo de duración de dicha fuga.

Secretario.- El secretario deberá tener conocimientos en archivo de documentos, computación, manejo de equipos de oficina (fax, fotocopidora, etc.), manejo de equipo de comunicación (radio).



6.3. Equipo, materiales y herramientas para la detección, localización y reparación de fugas.

Conciérne al equipo utilizado para de detección y localización de fugas y al material y herramientas empleadas en la reparación del escape del agua de la red.

Los equipos deben encontrarse en óptimas condiciones, tener la cantidad suficiente para garantizar la calidad de la detección y reparación de fugas y, estar disponible para su uso,

Los equipos, materiales y herramientas usualmente requeridas son:

- **Equipos:** Instrumentos acústicos (geófonos, correlador acústico, barras metálicas), cortadora de concreto, excavadora.
- **Materiales:** tuberías, accesorios, pegamento, empaques.
- **Herramientas:** llaves de tubo, llaves de dado para válvulas, sierra para metales y plástico, guantes, herramientas menores (palas, picos, carretillas, martillo, baldes, cronómetros)

6.4. Actividades del personal.

A continuación se detalla las actividades que desarrollará el personal:

Jefe del departamento.

1. Elaborar y entregar rutas de trabajo al jefe de cuadrilla.
2. Supervisar el trabajo de las cuadrillas.



3. Informar al usuario de la suspensión temporal del servicio por obras de reparación de fugas (indicando los sectores afectados y la duración de la suspensión del servicio).
4. Recibir y solicitar reportes o informes del jefe de cuadrilla.
5. Elaborar un informe diario de trabajo realizado.
6. Conocer normas y reglamentos de seguridad y utilizar el equipo adecuado para eliminar la posibilidad de accidentes de trabajo.

Jefe de cuadrilla.

1. Coordinar las actividades del personal a su cargo.
2. Entregar rutas al chofer de la cuadrilla respectiva
3. Realizar informes de trabajo de las cuadrillas.
4. Recibir informes de las cuadrillas.

Cuadrilla de detección y localización de fugas.

1. Al chofer es entregada la ruta de recorrido para el traslado de la cuadrilla.
2. El operario realiza inspecciones en tubería de conducciones, distribución y conexiones domiciliarias e informar al jefe de cuadrilla de posibles fugas en válvulas, tuberías, medidores.
3. El geofonador realiza el recorrido de la ruta para detectar alguna fuga, mediante el equipo adecuado geófonos, correlador acústico, micrófonos de contacto, etc.



4. El operario llena el informe del reporte de fuga establecido en el anexo B, el que es entregado al jefe de cuadrilla.
5. El informe de reporte de fuga es entregado al ingeniero auxiliar para el debido proceso de información. Este proceso se basa en registrar la información de la fuga, clasificando por el tipo de fuga, ubicación (red o conexión domiciliaria), material de la tubería, etc.

Cuadrilla de reparación de fugas.

1. Acudir a lugares donde se reportan fugas
2. El chofer traslada a la cuadrilla al lugar de la fuga.
3. El operario de válvulas procederá al cierre de válvulas del tramo a realizar la reparación del escape de agua.
4. El operario de la máquina cortadora realizará los cortes de concreto en el pavimento de ser una fuga en la tubería.
5. El operario de la maquinaria realizará la excavación de la zanja para la reparación de la tubería, la cual se encuentra aproximadamente a un metro y medio de profundidad.
6. Los peones realizarán la excavación necesaria.
7. El peón limpiará el área de trabajo que permitirá la reparación de la fuga.
8. Un peón llenará el informe de anexo C, que será entregado al jefe de la cuadrilla.
9. Se procederá a rellenar la zanja.



Secretaria.

1. Atender reportes de usuarios vía telefónica y personalmente.
2. Elaborar oficios.
3. Recibir, procesar y archivar los informes de trabajo de las cuadrillas.
4. Entregar rutas de trabajo al jefe de cuadrilla.
5. Elaborar reportes de avances de trabajo.
6. Elaborar reportes de fugas reparadas al cien por ciento.
7. Recibir, clasificar y entregar la correspondencia.

6.5. Frecuencia de mantenimiento de equipos de detección, localización y reparación de fugas.

El mantenimiento de los equipos para la detección, localización y reparación de fugas son actividades que se realizan durante un periodo de tiempo, durante un año de trabajo. La frecuencia de mantenimiento se debe hacer semanal, mensual y anualmente.

Cuadro 6.1. Cuadro de frecuencia de mantenimiento de equipos de detección, localización y reparación de fugas.

Semanal	<ul style="list-style-type: none">• Limpiar geófono, correlador acústico, varillas metálicas.• Limpiar la máquina cortadora de concreto• Revisar aceite de la máquina retroexcavadora• Limpiar las herramientas
Mensual	<ul style="list-style-type: none">• Verificar el funcionamiento de geófono, correlador acústico.• Revisar la máquina cortadora de concreto y, en caso de alguna daño repararlo.• Cambio de aceite y renovación de mangueras en caso de estar rotas de la máquina retroexcavadora.



“POLÍTICAS PARA EL CONTROL ACTIVO DE FUGAS”

Autora: Glenda Marianela Medina Medina

Continuación

Anual	<ul style="list-style-type: none">• Calibrar el geófono, correlador acústico.• Revisión mecánica de la máquina cortadora de concreto y retroexcavadora.
--------------	--

Fuente: La Autora.

Capítulo VII

Conclusiones, recomendaciones
y referencias bibliográficas



7. CONCLUSIONES , RECOMENDACIONES Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7.1. Conclusiones

- Se plantearon políticas para el control de fugas, lo que conlleva a un nivel bajo de pérdidas en redes de distribución de agua.
- Se detalla la realización del diagnóstico del sistema de agua potable mediante el balance hídrico, el cual se puede evaluar mediante indicadores de gestión.
- Se elaboró el manual técnico para la detección, localización y reparación de fugas.

7.2. Recomendaciones

A administradores de empresas operadoras para el control de fugas se recomienda:

- Realizar sectorización de la red mediante sectores y/o distritos hidrométricos de tamaños similares considerando número de población y presiones.
- Realizar macromedición y micromedición para conocer el volumen de pérdidas de agua.
- Efectuar diagnósticos mediante balances hídricos de cada sector y/o distritos hidrométricos.
- Adquirir instrumentos de detección y localización de fugas; y efectuar actividades de detección, localización y reparación de fugas mediante cuadrillas de operación.
- Elaborar actividades para un continuo mantenimiento de la red de distribución de agua potable.
- Realizar actualizaciones continuas de catastros de la red como de usuarios.
- Se debe llevar a cabo la gestión de la presión ya que es una



actividad clave reconocida internacionalmente para disminuir las pérdidas de agua, ya que a mayor presión mayores fugas.

A operadores y personal de la empresa operadora se recomienda:

- Realizar actividades de mantenimiento de la red abastecimiento de agua potable.
- Realizar capacitaciones sobre el uso y manejo de los instrumentos de detención y localización de fugas. También de los componentes de la red de distribución de agua (válvulas, tuberías, conexiones, medidores).
- Llevar registros de detecciones, localizaciones y reparaciones de fugas.



7.3. Referencias bibliográficas

[1] BOURGUET ORTIZ, Víctor J. (2004). A.C. AF1-3 "Estrategia y organización para la detección de fugas". Centro mexicano de capacitación en agua y saneamiento, México.

[2] BENAVIDES M, Holger. (2007). Sanitaria IV. Conferencia 8. Evaluación de redes. Apuntes de clase. Loja, Ecuador. UTPL.

[3] LAMBERT, Allan & MYERS, Stephe & TROW, Stuart. (1998) "Managing water leakage". Economic and technical issues. Publicado y distribuido por Financial Times Energy. Gran Bretaña

[4] Instituto Ecuatoriano de obras sanitarias IEOS. Normas para el estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones. CO 10.07 - 601

LINKS:

[5] CONTRERAS GARZÓN, Fabio y THORNTON, Julián. (2006) "Influencia de la presión en las pérdidas de agua en sistemas de distribución". www.bvsde.paho.org/bvsaidis/uruguay30/CO02045_Garzon_Contreras.pdf consulta Octubre 2008, pág activa

[6] Manual de indicadores de gestión para agua potable y alcantarillado sanitario.(ADERASA).[http://www.aderasa.org/aa/img_upload/.../Manual de Benchmarking de ADERASA marzo 2007.doc](http://www.aderasa.org/aa/img_upload/.../Manual_de_Benchmarking_de_ADERASA_marzo_2007.doc), consulta Octubre 2008, página inactiva.

[7] Auditoría de redes de distribución de agua. Enrique Cabrera, Jabier Almandoz, Francisco Arreguil, Jorge García – Serra. <http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/2957/1/64article6.pdf>, consulta Octubre 2008, página activa.

[8] Losses from water supply systems: standard terminology and recommended performance measures. International Water Association. http://www.iwahq.org/uploads/iwa%20hq/website%20files/media%20and%20communication/reference.../blue_pages, consulta Febrero 2009, página inactiva.



- [9] Clasificación y causas que producen las fugas. www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan/011632/011632-05.pdf. consulta Septiembre 2008, pág activa.
- [10] Best Practice Performance Indicators for NonRevenue Water and Water Loss Components: A Practical Approach. Water Loss Group: IWA Task Force. <http://www.findmoreleaks.com/downloads/Water21-8.pdf>, consulta Octubre 2008, página activa.
- [11] Control de fugas en redes de distribución de agua. Proyecto de desarrollo tecnológico de las instituciones de abastecimiento de agua potable y alcantarillado (DTIAPA). Lima-Perú. www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan2/018968/018968.pdf. consulta Febrero 2009 , pág. activa.
- [12] Stuart Hamilton. Acoustic leakage detection. The IWA water loss task force. Water 21 - article no. 7. http://www.pdfdownload.org/pdf2html/pdf2html.php?url=http%3A%2F%2Fwww.iwapublishing.com%2Fpdf%2FAugust_2004.pdf&images=yes , consulta Septiembre 2008, pág. active.
- [13] SubSurface Leak Detection, Inc. How to find Leaks. http://www.subsurfaceleak.com/find_leaks.html. consulta Febrero 2009. pág activa.
- [14] Benavides M. Holger. (2009) Detección de fugas por flujos nocturnos. Universidad Técnica Particular de Loja. Loja – Ecuador. <http://www.pdfdownload.org/pdf2html/pdf2html.php?url=http%3A%2F%2Fwww.utpl.edu.ec%2Fblog%2Fholgerbenavides%2Ffiles%2F2009%2F04%2Fconfereencia-holger-benavides-munoz.pdf&images=yes> consulta Abril 2009, pág. activa.
- [15] Recomendaciones para detección y aforo de fugas en tomas domiciliarias. CEPIS. <http://www.cepis.org.pe/bvsair/e/repindex/rep48/recomen/recomen.html>, consulta Febrero 2009, página activa
- [16] Correlador acústico controlado por PC, Multicorrelación. EATHISA www.eathisa.com/dat/archivos/MAQ6000.pdf, consulta Febrero 2009, página activa.
- [17] Indicadores de Instituto Mexicano Tecnológico del Agua. IMTA. www.ualg.pt/5cigpa/comunicacoes/IBÉRICO_Indicadores_Completo.doc, consulta Enero 2009, pág. activa

Anexos

ANEXO A
CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO

Nombre del distrito hidrométrico: Mirasol bajo (Quito)

Datos:

Área:	18207	Ha
Población:	1507760	Habitantes
Área de abastecimiento:	73.6	Ha
Volumen inyectado:	23169	m ³
Nº de conexiones:	450	
Longitud de la red distribución	9.5	km
Longitud de conexiones	0.45	km
Longitud de la red:	9.95	Km
Nº de medidores:	469	

UBICACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.



Fuente: Benavides M, Holger (2009), Detección de fugas por flujos nocturnos. Universidad Técnica Particular de Loja. Loja – Ecuador.

Volumen Facturado y número de medidores

Sector	Ruta	Medidores funcionando		Conexiones sin medidor		Medidores dañados		Total	
		U	FACT. (m ³)	U	FACT. (m ³)	U	FACT. (m ³)	U	FACT. (m ³)
62	6	14	1069	2	38	1	60	17	1167
62	14	73	2823	2	0	0	0	75	2823
62	16	115	5821	1	0	1	38	117	5859
68	2	3	425	0	0	0	0	3	425
68	9	8	309	1	30	0	0	9	339
68	10	227	8184	1	4	1	5	229	8193
Complementarios		19	0	0	0	0	0	19	0
TOTAL:		459	18631	7	72	3	103	469	18806
PORCENTAJE:		97.87%	99.07%	1.49%	0.38%	0.64%	0.55%	100%	100%

COMPONENTES DEL BALANCE HÍDRICO:

Concepto	Unidad	Volumen
Volumen de entrada al sistema	m ³	23169.02
Consumo autorizado facturado	m ³	18806.00
Consumo facturado medido por micromedidores	m ³	18137.00
Consumo facturado no medido	m ³	669.00
Consumo autorizado no facturado	m ³	0.00
Consumo no facturado medido	m ³	0.00
Consumo no facturado no medido	m ³	0.00
Pérdidas de agua (aparentes y reales)		4363.02
Pérdidas aparentes	m ³	310.00
Impresiones de medida/errores de medición	m ³	310.00
Pérdidas reales	m ³	2073.02
Fugas en transporte y conducción y distribución	m ³	593.00
Fugas y desbordamientos en transporte y/o depósitos de almacenamiento (Evaporación y derramen en tanques de almacenamiento)	m ³	88.02
Fugas en acometidas	m ³	1392.00

Por falta de información se realizó estimaciones de volúmenes de pérdidas aparentes y pérdidas reales; en pérdidas aparentes por registros mal leídos, mal digitalización de registros y usos no autorizados y, en pérdidas reales debido a fugas en tubería de conducción, transporte y distribución, fugas por evaporación en tanques de almacenamiento y fugas en acometidas que son mayores a las demás.

Se calcula los rendimientos porcentuales para evaluar la gestión realizada en el sistema de abastecimiento de agua potable:

- Rendimiento de la red:

$$\eta_r = \frac{Q_s}{Q} = \frac{Q - Q_f}{Q} = \frac{23169,02 - 2073,02}{23169,02} = 0,91$$

- Rendimiento de gestión técnico-administrativo:

$$\eta_s = \frac{Q_r}{Q_s} = \frac{18806}{23169,02 - 2073,02} = 0.86$$

- Rendimiento global:

$$\eta_g = \eta_s \times \eta_r = 0.91 \times 0.86 = 0.78$$

Por lo tanto con la tabla 3.2, y con el rendimiento global se interpreta que la gestión de este sistema es buena.

ANÁLISIS DE FLUJOS NOCTURNOS

Con registros de caudal entregado a los usuarios y la presión medida en la salida del tanque Marisol Bajo se consiguieron los siguientes datos:

Q máx: 13.93 L/s
 Q prom: 8.22 L/s
 Q mín: 4.52 L/s

P máx: 66.35 m c.a.
 P prom: 58.08 m c.a.
 P mín: 31.73 m c.a.

Caudal entregado a los usuarios

Tipos de consumos	Característica	# usuarios	q unitario L/h	Caudal total L/h
Excepcionales	Domésticos	0	0	0
	No domésticos	1	600	600
Nocturno doméstico	(1.7xNv)	425	1.7	722.5
Nocturno no doméstico	(8xNu)	25	8	200
Total (A)=				1522.5

Fugas latentes

El estado del distrito hidrométrico Marisol Bajo es medio por lo tanto se utiliza valores de la siguiente tabla:

Estado de la red	F	G
Bueno	2	20
Medio	4	40
Malo	6	60

Fuente: BENAVIDES M, Holger. (2007). Sanitaria IV. Conferencia 8. Evaluación de redes. Apuntes de clase. Loja, Ecuador. UTPL.

$$Q_{fugaslatentes} = F \times Nc + G \times Lr$$

Lugar	Estado	Longitud (Km)	Factor (L/km/h)	Caudal total (L/h)
Tuberías de distribución	Bueno		20	0
	Medio	9.5	40	380
	Malo		60	0
Sub total (1)=				380

Lugar	Estado	Longitud (Km)	Factor (L/km/h)	Caudal total (L/h)
Acometidas	Bueno		2	0
	Medio	450	4	1800
	Malo		6	0
Sub total (2)=				1800

TOTAL (B): 2180

Se debe realiza la corrección del total B con el factor de corrección de la presión, la presión del distrito es de 60 m c.a.

Tabla 2.2. Factor de corrección de la presión (Managing leakage. UK water Industry)

AZNP	20	30	40	50	60	70	80	90	100
PCF	0.329	0.529	0.753	1	1.271	1.565	1.884	2.226	2.592

TOTAL CORREGIDO (C): 2768.6

CAUDAL MÍNIMO NOCTURNO INEVITABLE (L/h) (A+C) 4291.1

$$Q_{mn} = 4.291 \text{ m}^3/\text{h}$$

SISTEMA DE INDICADORES DE GESTIÓN

Variables:

Población

Número de conexiones

Longitud de la red de distribución

Volumen inyectado

Volumen facturado

Pérdidas aparentes

Pérdidas reales

Presión= 60 m c.a

Indicadores de gestión

- Índice de agua no contabilizada

$$IANC = \left(1 - \frac{Vf}{Vi}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{18806}{23169,02}\right) \times 100 = 18,83 \%$$

- Umbral mínimo de fugas (Pérdidas inevitables)

$$UMF = \left(A \times \frac{Lr}{Nc} + B + C \times \frac{Lc}{Nc}\right) \times P$$

$$UMF = \left(18 \times \frac{9,95}{450} + 0,80 + 25 \times \frac{0,60}{450}\right) \times 60 = 73,88 \text{ L/conexión/día}$$

- Volumen incontrolado fugado

$$VIF = \frac{\text{Volumen fugado}}{N.-acometidas \times \text{día}}$$

$$VIF = \frac{4363.02 \times 1000}{450 \times 30} = 323.19 \text{ L/conexión/día}$$

- Índice de fugas estructurales

$$IFE = \frac{VIF}{UMF} = \frac{323,19}{73,88} = 4.37$$

Por lo tanto el índice de fugas estructurales es mayor a 3 el valor de referencia de la IWA significa que es muy bueno.

INSTRUCTIVO DE LLENADO DEL FORMATO

Anotar:

1. Fecha en la que se realiza de detección
2. Ubicación del sector en la que se realiza esta actividad.
3. El número de hoja
4. Realizar un croquis del sector ubicando los puntos de fugas para su reparación por la cuadrilla respectiva.
5. Especificar el lugar de la fuga.
6. Anotar la longitud total recorrida.
7. Cantidad de geofonadores que realizaran el recorrido en el sector.
8. Detallar el equipo y herramientas utilizadas.
9. Nombre y firma del responsable de elaboración del reporte

Mediante el llenado de este formato la cuadrilla de reparación tendrá la información precisa, para la reparación y no tener que realizar trabajos innecesarios, como el de romper el pavimento en lugares equivocados.

Causa de la fuga: Falla estructural/ geotécnica Deficiencia de unión Corrosión Deficiencia en la instalación Golpe de ariete Falla en el relleno Edad de Tubería Falla del material Vibración de tráfico Otra causa**Excavación de zanja:**

Profundidad de tubería (m): _____

Material de relleno:

Arena	Grava	Tierra	Arcilla	Otro

Fuga en conexión domiciliaria (Lugar de ocurrencia)

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

Tipo de fuga:

Rajadura	Perforación	Rotura	Corte	Rosca floja	Otro (especificar)

Estimación del tiempo de la fuga (h): _____

Aforo de fuga:

Nº de medición	Volumen (L)	Tiempo (s)
1		
2		
3		
4		
5		
Promedio		
Caudal de fuga (m³/h):		

Tiempo de reparación de la fuga (h): _____

Presión (m c.a.): _____

Número de trabajadores: _____

Equipo utilizado: _____

NOMBRE Y FIRMA:

INSTRUCTIVO DE LLENADO DEL FORMATO

Anotar:

1. Fecha en la que se realiza la reparación.
2. Ubicación del sector en la que se realiza esta actividad.
3. El número de hoja.
4. Lugar de la fuga (Dato del informe de detección y localización de fugas).
5. Croquis de reparación de la fuga.
6. En caso de que la fuga se presente en la tubería, seleccionar el material de la que esta compuesta.
7. Seleccionar la causa de la fuga.
8. Especificar la profundidad a que se encuentra la tubería.
9. Material de relleno.
10. Tipo de fuga.
11. Aforo de la fuga mediante el método volumétrico directo ($Q=V/t$).
12. Tiempo en que se demoran en la reparacaión de la fuga.
13. Medir la presión mediante manómetro.
14. Número de trabajadores que realizaron la operación.
15. Detallar el equipo y herramientas utilizadas.
16. Nombre y firma del responsable de elaboración del reporte.