

## 別添 10 無収水削減実務マニュアル



# MANUAL PRÁCTICO DE REDUCCIÓN DE AGUA NO FACTURADA

# ENACAL



## CRÉDITOS

Publicado por el Proyecto de Fortalecimiento de la Capacidad de Gestión de Agua No Facturada en la ciudad de Managua (PROGESTIÓN) dirigido por la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA)

### Líder del equipo experto:

Koji Naito  
CTI Engineering Internacional Co., Ltd.

### Equipo de Progestión de ENACAL:

Ing. José Iván García  
Lic. Octavio Aragón  
Ing. Junior Cardoza  
Ing. Julio López  
Lic. Maritza Tellería

Ing. Jader Grillo  
Ing. Francisco Reyes  
Ing. Verónica Rivera  
Ing. Aréllis Valdes  
Lic. Eduardo Nuñez

Managua, Diciembre de 2019



Gobierno de Reconciliación  
y Unidad Nacional

*El Pueblo, Presidente!*

4★  
2019

Aquí nos ilumina,  
un Sol que no declina  
El Sol que alumbra  
las nuevas victorias  
RUBÉN DARÍO

Managua, 18 de diciembre de 2019

#### PRÓLOGO

El Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional establece el acceso al Agua Potable y el Saneamiento como un derecho humano de los nicaragüenses.

Con el apoyo de organismos internacionales, recursos del Tesoro y en Alianzas con las Alcaldías, se han ejecutado proyectos de Agua Potable y Saneamiento en diferentes ciudades del país, que han permitido incrementar la cobertura de Agua Potable de un 65.0% en el 2006 a un 90.0% en el 2019; proyectando alcanzar para el año 2023 un 95.0% de cobertura, incrementando la cantidad de horas de abastecimiento por día.

En cuanto a la cobertura de Alcantarillado Sanitario, de un 33.0% que teníamos en el año 2006, logramos un 51.5% en el año 2019, proyectando alcanzar un crecimiento entre 75.0 y 80.0% en el año 2023, lo que permitirá mejorar sustancialmente la calidad de vida de las familias nicaragüenses.

#### ASISTENCIA TÉCNICA JAPONESA

La asistencia técnica Japonesa ha sido muy importante para el desarrollo, fortalecimiento institucional y modernización de la Empresa.

En el 2017, a través del Programa Proyecto de Fortalecimiento de la Capacidad de Gestión de Agua No Facturada en la ciudad de Managua (PROGESTIÓN), se ha venido trabajado con los expertos japoneses en la reducción de pérdidas de agua, mejoramiento del abastecimiento en algunos barrios de Managua, incremento de la producción de este recurso en el campo de pozos de Managua II, reducción del agua no facturada y fortalecimiento institucional.

Se logró incrementar la producción de agua hasta 1.5 millones de galones diarios en el campo de pozos de Managua II mediante la perforación y equipamiento de 2 nuevos pozos de agua.

Estas obras mejoraron los horarios de abastecimiento en los barrios de Managua ubicados en el sector de Sabana Grande al Paso a Desnivel de Rubenia, entre ellos: Jardines de Veracruz, Villa Venezuela, Laureles Norte y Sur, Sabana Grande, Mirador La Sabana, Américas I y III, 8 de marzo, 9 de julio, Colonia Primero de Mayo, La URSS, y barrios ubicados en el distrito VI y VII.



CRISTIANA, SOCIALISTA, SOLIDARIA!

EMPRESA NICARAGÜENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS SANITARIOS ENACAL -  
PRESIDENCIA EJECUTIVA, Dirección: km. 5 Carretera Sur - Teléfonos: 2253-8000  
Ext.3001- 3004 Fax: 2266-7872, Email: ervin.barrada@enacal.com.ni

FE,  
FAMILIA  
Y COMUNIDAD



CRISTIANA, SOCIALISTA, SOLIDARIA!

EMPRESA NICARAGÜENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS SANITARIOS ENACAL -  
PRESIDENCIA EJECUTIVA, Dirección: km. 5 Carretera Sur - Teléfonos: 2253-8000  
Ext.3001- 3004 Fax: 2266-7872, Email: ervin.barrada@enacal.com.ni

FE,  
FAMILIA  
Y COMUNIDAD



Gobierno de Reconciliación  
y Unidad Nacional

*El Pueblo, Presidente!*

4★  
2019

Aquí nos ilumina,  
un Sol que no declina  
El Sol que alumbra  
las nuevas victorias  
RUBÉN DARÍO

La Cooperación Japonesa, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Cooperación Técnica Alemana contribuyen en el proyecto de descentralización del nivel central de la Empresa, que consiste en transferir las responsabilidades de gestión de pérdidas de agua a las delegaciones, filiales y sucursales de Managua; descentralización que ya se inició en la Sucursal Altamira.

Asimismo, en el año 2017, se implementó un proyecto piloto en Asososca 3 Managua, para reducir el agua no facturada, que consistió en la reparación de las fugas, la instalación y reemplazo de medidores, capacitación y entrenamiento práctico con nuevas tecnologías al personal de ENACAL.

Otro aspecto importante del apoyo de JICA a ENACAL ha sido el fortalecimiento de las capacitaciones al personal. Se han impartido cursos a los trabajadores en Japón y Nicaragua, sobre gestión de agua no facturada, lectura de medidores y la aplicación de tecnologías avanzadas como el uso de un geo-radar para detectar conexiones ilegales de agua potable.

Para reforzar estos conocimientos les presentamos tres manuales de gestión: Plan Básico de Reducción de Agua No Facturada, Manual Práctico de Reducción de Agua No Facturada y Guía Técnica para la Instalación de las Conexiones Domiciliarias y Micro-Medición.

Estos manuales son una guía técnica de trabajo, donde se establecen procedimientos para realizar de una forma ordenada y sistematizada la instalación de conexiones domiciliarias y micro-medidores para incidir en la reducción del Agua No Facturada.

Instamos a los Trabajadores a aprovechar estos conocimientos y orientaciones, ponerlos en práctica en la labor diaria que desarrollan las cuadrillas en el campo y empujar decididamente en todos los niveles las acciones que conlleven a reducir el Agua No Facturada y con esto alcanzar, en el corto y mediano plazo, la Sostenibilidad Financiera de ENACAL.



Ervin Barrera Rodríguez  
Presidente Ejecutivo  
ENACAL

CON FE Y  
ESPERANZA!

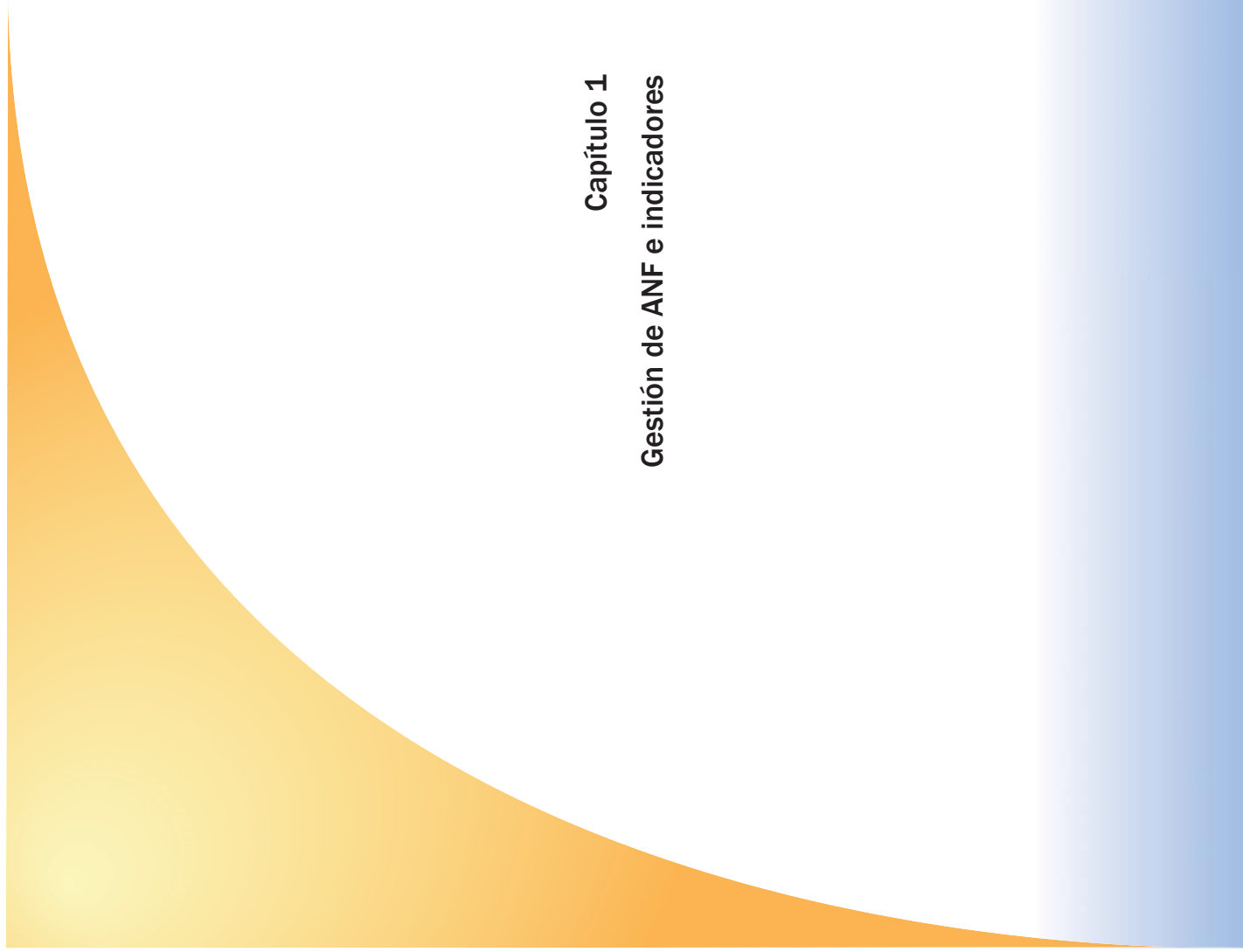
## CONTENIDO

Capítulo 1. Gestión de ANF e indicadores .....	1
1.1 Definición de Agua No Facturada (ANF) .....	1
1.2 Evaluación de las pérdidas físicas .....	3
1.3 Evaluación de las pérdidas comerciales .....	8
Capítulo 2. Concepto de micro y macro sectores .....	13
2.1 Definición del macrosector .....	13
2.2 Objetivos de la macrosectorización .....	14
2.3 Elaboración de balance hídrico .....	15
2.4 Definición del microsector .....	25
2.5 Objetivos de microsectorización .....	27
2.6 Medición del caudal mínimo nocturno de los microsectores .....	28
Capítulo 3. Detección de las pérdidas reales .....	29
3.1 Clasificación y métodos de detección de las fugas de agua .....	29
3.2 Mecanismo de generación de sonido de fugas de agua .....	42
3.2.1 Clasificación de sonidos de fugas .....	42
3.2.2 Características de sonido de fugas .....	43
3.3 Análisis del sonido de fugas .....	50
3.3.1 Velocidad de propagación del sonido de fugas .....	50
3.3.2 Diferencia de velocidad de propagación según el tipo de tubería .....	50
3.3.3 Diferencia de velocidad de propagación según el tipo y el diámetro del tubo .....	51
3.3.4 Transmisión del sonido en las tuberías complejas .....	54
3.3.5 Características de la frecuencia del sonido de fugas y tendencia de atenuación .....	55
3.4 Principio del correlacionador de ruido de fugas y método de cálculo .....	56
3.5 Utilización de la detección de fugas por correlación multipuntos .....	61
3.6 Reparación de fugas .....	66
3.6.1 Concepto de reparación y reparación de fugas .....	66
3.6.2 Acerca de la curva de reparación de fugas .....	68
3.6.3 Relación entre las medidas de prevención de fugas por etapas y la reparación de fugas .....	69
Capítulo 4. Medición de caudal .....	71
4.1 Precisión y normas para medidores .....	71
4.1.1 Definición de caudal .....	71
4.1.2 Normas internacionales de los calibres .....	75
4.1.3 Precisión de los medidores .....	77
4.1.4 Métodos de prueba de precisión de los medidores .....	81
4.2 Tipos y funciones de los medidores (Micromedidor) .....	87
4.2.1 Tipos de micromedidores .....	87
4.2.2 Especificaciones de los medidores comunes en Nicaragua .....	88
4.2.3 Selección de los medidores sobre la base del diámetro, el valor del rango de medición (R) y los datos del consumo .....	90
4.3 Tipos y funciones de los caudalímetros (Macromedidor) .....	91
4.4 Funciones del caudalímetro ultrasónico .....	111
4.5 Medición de caudal mínimo nocturno ( $Q_{\text{minf}}$ ) .....	118
4.6 Situación real del caudal nocturno en los hogares, y análisis de $Q_{\text{minf}}$ .....	122
4.7 Método de medición del volumen de fugas, y evaluación .....	126
4.8 Medición directa del volumen de pérdidas ( $Q_{\text{directo}}$ ) en los subsectores .....	129
Capítulo 5. Control de presión .....	133
5.1 Definición de presión .....	133
5.1.1 Cómo se expresa la presión de agua .....	133
5.1.2 Tipos de presión .....	138
5.1.3 Comprensión de la presión diferencial .....	140
5.2 Regulación de presión en las redes de tuberías de distribución .....	143
5.2.1 Predeterminación de una adecuada presión de suministro .....	143
5.2.2 Control mediante la regulación de las válvulas .....	143
5.2.3 Tipos de métodos de reducción de presión .....	144
5.3 Comprensión de la cavitación .....	158
5.3.1 ¿Qué es la cavitación? .....	158
5.3.2 Coeficiente de cavitación .....	162
5.3.3 Coeficiente de cavitación crítico .....	163
5.3.4 Coeficiente de cavitación de uso práctico .....	164
5.4 Procedimientos de selección de válvulas de control .....	165
5.5 Ejercicios de problemas .....	167

Capítulo 6 Medidas para ANF comercial .....	173
6.1 Estudio de usuarios .....	173
6.1.1 La importancia del estudio de usuarios .....	173
6.1.2 Métodos del estudio de usuarios .....	174
6.2 Medidas para conexiones ilegales .....	180
6.2.1 La importancia de las medidas para conexiones ilegales .....	180
6.2.2 Métodos de medidas para conexiones ilegales .....	180
6.3 Pruebas de verificación de la precisión de micromedidores en el lugar .....	210
6.3.1 La importancia de verificar la precisión de micromedidores .....	210
6.3.2 Procedimiento de pruebas de verificación de la precisión de micromedidores en el lugar .....	210
6.4 Lectura de micromedidores .....	216
6.4.1 La importancia de la lectura correcta de micromedidores .....	216
6.4.2 Medidas de mejora de la capacidad de lectura de micromedidores .....	216

Capítulo 7 Procedimiento de diagnóstico de las redes de distribución, y evaluación para una gestión sostenible .....	221
7.1 Evaluación de redes de distribución con indicadores de evaluación de pérdidas físicas .....	221
7.1.1 Medición y análisis de microsectores .....	222
7.1.2 Tipos y métodos de utilización de indicadores .....	225
7.1.3 Criterios de indicadores .....	229
7.1.4 Aplicación de indicadores .....	233
7.1.5 Proceso de revisión del caudal mínimo nocturno ( $Q_{\text{mnf}}$ ) y la medición directa ( $Q_{\text{directo}}$ ) .....	237
7.1.6 Ejemplo de la evaluación de los indicadores con caudal mínimo nocturno ( $Q_{\text{mnf}}$ ) .....	238
7.2 Establecimiento de criterios para el reemplazo de las redes de distribución .....	241
7.3 Método de diagnóstico del tubo de asbesto cemento .....	244

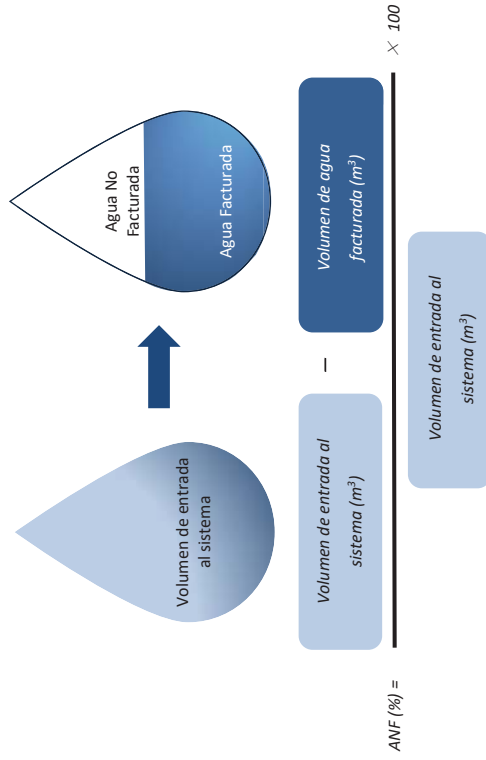
**Capítulo 1**  
**Gestión de ANF e indicadores**



## Capítulo 1 Gestión de ANF e indicadores

### 1.1 Definición de Agua No Facturada (ANF)

La definición del Agua No Facturada (ANF) estipulada por la Asociación Internacional del Agua (IWA) es la siguiente.



**Figura 1.1 Definición de ANF**

**Volumen de entrada al sistema** El “Volumen de entrada al sistema” es el volumen suministrado a los usuarios a través de las tuberías de distribución o cisternas. En caso de la ciudad de Managua, las fuentes de agua son pozos o lagos, y como no existe ninguna planta de purificación de agua, el “Volumen de entrada al sistema” puede ser reemplazado por el “Volumen de producción de agua”. Sin embargo, en caso de las Delegaciones departamentales o regionales donde existen plantas de purificación sencillas, el “Volumen de entrada al sistema” es el volumen excepto el volumen consumido en la planta de purificación para su mantenimiento y control.

**Volumen de agua facturada**

El “Volumen de agua facturada” es el volumen a facturar autorizado por la empresa, e incluye no sólo el volumen de los resultados de la lectura de medidores sino también el volumen estimado de la facturación. El período de contabilización del “Volumen de agua facturada” debe ser el mismo del “Volumen de entrada al sistema”.

El primer paso para la reducción de ANF es comprender todo el panorama del sistema de agua potable. A los funcionarios en posición de revisar las medidas, se les requiere elaborar una Tabla de balance hídrico.

La elaboración de este balance hídrico permite comprender de manera integral la envergadura, las causas, el costo necesario, etc. de ANF del sector a su cargo.

La IWA recomienda la siguiente Tabla de balance hídrico estándar.

**Tabla 1.1 Tabla de balance hídrico que muestra la composición de ANF**

	Consumo facturado medido		Agua facturada
	Consumo facturado autorizado	Consumo facturado no medido	
Consumo autorizado	Consumo no facturado autorizado	Consumo no facturado medido (Agua suministrada a las áreas específicas tales como barrios pobres, refugios etc.)	Agua no facturada
		Consumo no facturado no medido (Consumo requerido para la operación y mantenimiento de servicios)	
Volumen de entrada al sistema	Pérdidas de agua	Pérdidas aparentes (comerciales)	Agua facturada
		Pérdidas reales (físicas)	
		Fugas en acueductos y tuberías de distribución	
		Fugas y rebose en reservorios	
		Fugas en tuberías de acometida y medidores de usuario	
		Consumo no autorizado (Consumo por conexiones ilegales)	
		Errores de micromedidores y errores en el manejo de datos	

Fuente: Indicadores de Rendimiento / Primera Edición 2000, IWA



### 1.2 Evaluación de las pérdidas físicas

Una vez elaborada la Tabla de balance hídrico, si se logra cuantificar los componentes de ANF, se puede evaluar las pérdidas físicas y las pérdidas comerciales respectivamente utilizando los indicadores de rendimiento.

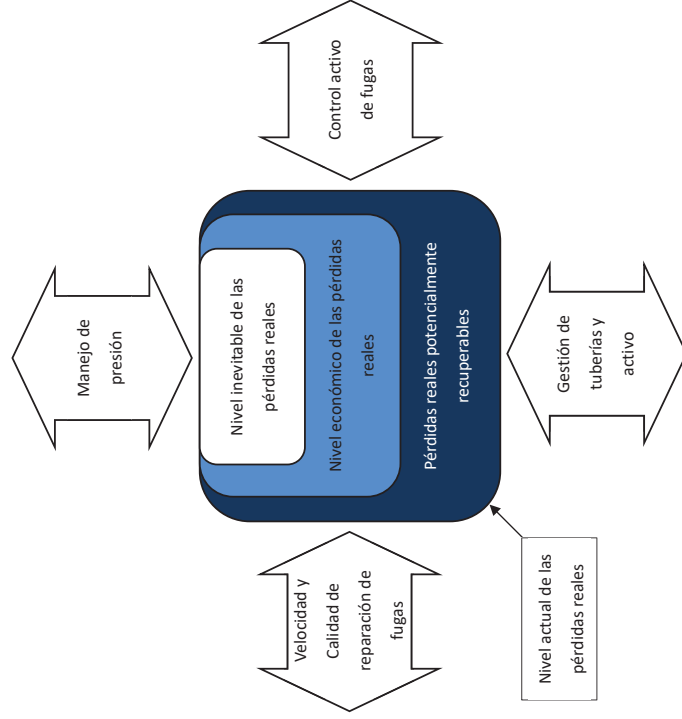


Figura 1.2 Esquema dinámica de las pérdidas reales

Los indicadores de rendimiento de las pérdidas físicas son los siguientes.

### (1) Pérdidas Reales Anuales (PRAA)

$$PRAA \text{ (Litros/día)} = \frac{\text{Pérdidas reales anuales (m}^3\text{/año)}}{\text{Número de días en los que el sistema está presurizado}} \times 1000$$

### (2) Pérdidas reales por conexión

$$Q_{\text{perd}} \text{ (Litros/conexión/día)} = \frac{\text{Pérdidas Reales Anuales Actuales (PRAA)}}{\text{Número de conexiones de servicio}}$$

Cabe señalar que para las zonas de baja densidad de conexiones con respecto a la longitud de tuberías de distribución (menos de 20 conexiones/km), la IWA recomienda el uso de la Longitud total de tuberías de distribución (L/km/día) en el indicador en vez de usar el número de conexiones. De todas maneras, no es el caso de la ciudad de Managua.

### (3) IFI: Índice de Fugas Infraestructurales

El IFI es el valor recomendado por la IWA como indicador de vulnerabilidad de tuberías de distribución. Para calcular esto, se calcula previamente las PRAI (Pérdidas Reales Anuales Inevitables) con la siguiente fórmula.

$$PRAI \text{ (Litros/día)} = (18 \times L_m + 0.8 \times N_c + 25 \times L_c) \times P$$

Lm : Longitud total de tuberías de distribución (km)

Nc : Número de conexiones de servicio

Lc : Longitud total de tubería de acometida (km)

P = Longitud promedio por conexión (km/conex.) × Número de conexión  
 : Presión operativa promedio (m-H<sub>2</sub>O)

Las PRAI indican el volumen mínimo que ya no se puede reducir más aunque se implemente cualquier medida contra las fugas. Se habla de que en cualquier empresa de agua esta cifra es alrededor de 2-4% del volumen total de distribución, por lo que se puede considerar como volumen de fugas permisible.

El IFI se obtiene dividiendo el volumen de pérdidas reales (PRAA) anteriormente mencionado entre este valor PRAI, y se utiliza para determinar el nivel de mantenimiento sano de las redes de tuberías distribución.

$$IFI = \frac{\text{Pérdidas Reales Anuales Actuales (PRAA)}}{\text{Pérdidas Reales Anuales Inevitables (PRAI)}}$$

Según el informe del Grupo de Trabajo de la IWA, se puede aplicar la comparación de valores de IFI en los sistemas relativamente grandes como a nivel nacional, municipal, macrosectores, etc. Las condiciones de su aplicación son las siguientes:

Número de conexiones: Más de 3,000 conexiones. Sin restricciones de densidad.

Promedio de presiones de suministro: Más de 25m-H<sub>2</sub>O

En caso de una red de distribución idónea sin ningún problema, se obtiene el IFI=1.0, aunque es un índice netamente técnico y el último. Es un valor imposible en la realidad ya que ignora la relación costo-efectividad, por lo que no es necesario pretender alcanzar este nivel.

Una vez establecidos el IFI actual y el valor meta, se utiliza la siguiente matriz según el valor del IFI y el promedio de presiones de suministro para determinar la meta de las pérdidas físicas.

**Tabla 1.2 Meta de las pérdidas físicas**

Categoría de desempeño técnico	IFI	Meta de pérdidas físicas (Litros/conexión/día) según rango de presión promedio de:				
		10m	20m	30m	40m	50m
País en desarrollo	A De 1 a 2	< 50	< 75	< 100	< 125	< 125
	B De 2 a 4	50 – 100	75 – 150	100 – 200	125 – 250	125 – 250
	C De 4 a 8	100 – 200	150 – 300	200 – 400	250 – 500	250 – 500
	D Mayor a 8	> 200	> 300	> 400	> 500	> 500
País desarrollado	A De 1 a 4	< 50	< 100	< 150	< 200	< 250
	B De 4 a 8	50 – 100	100 – 200	150 – 300	200 – 400	250 – 500
	C De 8 a 16	100 – 200	200 – 400	300 – 600	400 – 800	500 – 1000
	D Mayor a 16	> 200	> 400	> 600	> 800	> 1000

Fuente: Roland Liemberger, Conferencia sobre las Fugas, IWA, 2005

Categoría A	Excelente. Una mayor reducción de las pérdidas puede ser no económica, a menos que haya escasez; un análisis cuidadoso requerido para identificar la mejora de la relación costo-efectividad
Categoría B	Potencial para mejoras notables; considerar la gestión de la presión; una mejor práctica activa para el control de las fugas y un mejor mantenimiento de las redes
Categoría C	Deficiente registro de fugas; tolerable sólo si el agua es abundante y barata; aun así, analizar el nivel y la naturaleza de las fugas e intensificar los esfuerzos de reducción de fugas
Categoría D	Altamente ineficiente; es imperativo formular programas de reducción de fugas y con alta prioridad

#### (4) Datos del proyecto piloto

Durante los años 2017-2019, se realizó el proyecto piloto en dos áreas. Como resultado, se comprobó que las pérdidas comerciales en el volumen de pérdidas son un factor importante, al igual que las pérdidas físicas. Aunque no se llegó a calcular el porcentaje exacto de ambas pérdidas, se estimó que las pérdidas físicas ocupaban alrededor del 60% del volumen total de las pérdidas. Bajo estas condiciones se realizó la evaluación de las pérdidas físicas en dos áreas del proyecto piloto. Los resultados son los siguientes.

Los valores del IFI señalados aquí son valores de referencia, son cálculos tentativos para estimar la situación actual de la ciudad de Managua. Las áreas piloto son unidades muy pequeñas, por lo que habría que evitar el cálculo en otros microsectores utilizando los valores de estas áreas y comparar los dos valores.

**Tabla 1.3 Evaluación de las pérdidas físicas en las áreas piloto**

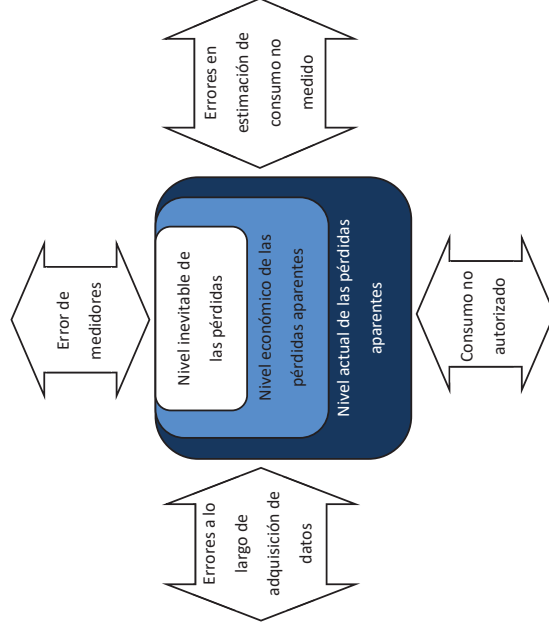
Sitio	Nro. de Conexión (conex.)	Longitud de tubería de distribución (km)	Longitud de tubería de acometida (km)	Presión del agua (m)	Antes de Acción Correctiva		Pérdida real (L/con/día)	PRAI (m <sup>3</sup> /h)	IFI
					Pérdida total del agua (m <sup>3</sup> /h)	Pérdida a real (m <sup>3</sup> /h)			
AZA No.3	1324	13.70	3.97	35	40.30	24.20	438.7	2.05	8.9
MS No.61	990	7.74	2.97	25	18.66	11.20	271.5	1.05	10.7

Fuente: Informe del Proyecto de Cooperación Técnica por JICA - ProGestión

Como se indica la Tabla, el IFI del área piloto se encuentra en el rango de 8-11 y se ubica en el rango C según la categoría de la Tabla 2.2. Sería pertinente establecer una meta de reducción de las pérdidas reales de 200-300L/conex/día por el momento y en el futuro subir el IFI al rango B.

### 1.3 Evaluación de las pérdidas comerciales

El índice de desempeño se establece en base a la esquema dinámica que se muestra a continuación.

**Figura 1.3 Esquema dinámica de las pérdidas aparentes**

Las pérdidas aparentes no están vinculadas directamente con el número de conexiones ni la longitud de tuberías, pero existe un vínculo directo con el consumo facturado.

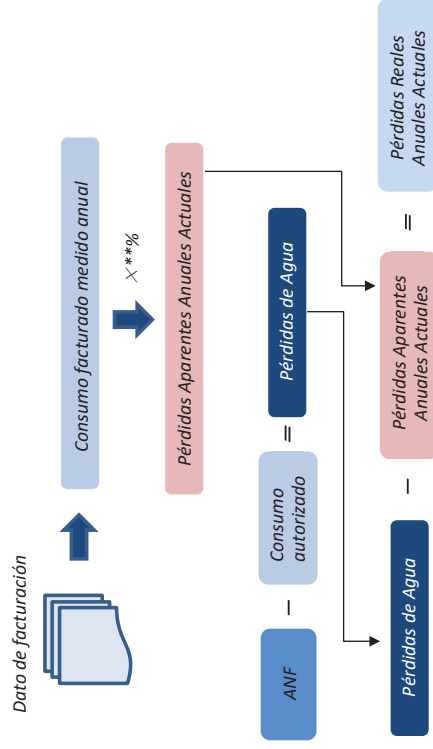
En otras palabras, se puede interpretar que el verdadero consumo de agua para los usuarios es la suma del consumo facturado autorizado y las pérdidas aparentes, por lo que es pertinente evaluar las pérdidas aparentes utilizando el porcentaje (%) sobre el consumo facturado autorizado (se excluye el agua exportada).

**(1) Método de estimación de las pérdidas aparentes**

Existen dos métodos para dividir el volumen de pérdidas en pérdidas físicas y pérdidas aparentes.

**【Método de arriba hacia abajo】**

Este método se basa en el consumo facturado medido y se calcula suponiendo un cierto porcentaje de esto como Pérdidas Aparentes Anuales Actuales (PAAA). El consumo facturado medido se puede obtener de los datos del volumen facturado. Restando del volumen de pérdidas el valor de las Pérdidas Aparentes Anuales Actuales (PAAA), se obtiene las Pérdidas Reales Anuales Actuales (PRAA).



**Figura 1.4** Imagen ilustrativa del método de arriba hacia abajo

**【Método de abajo hacia arriba】**

En este método, inicialmente se calcula la Pérdidas Reales Anuales Actuales (PRAA) a través del análisis del Caudal mínimo nocturno ( $Q_{\text{nmf}}$ ), luego, restando este valor obtenido del volumen de pérdidas, se obtiene la Pérdidas Aparentes Anuales Actuales (PAAA).

El método de abajo hacia arriba tiene diversas restricciones, por lo que en muchas ocasiones se utiliza el método de arriba hacia abajo.

Para utilizar el método de abajo hacia arriba, es necesario construir un Distrito Hidrométrico (DHM) hidráulicamente independiente en la red de distribución y preparar los equipos de medición de  $Q_{\text{nmf}}$ . Asimismo, se requiere una enorme labor para calcular exactamente las pérdidas reales, ya que el  $Q_{\text{nmf}}$  contiene el consumo ilegal de agua y el consumo nocturno.

Además, existe el riesgo de que las pérdidas reales estimadas a partir de  $Q_{\text{nmf}}$  contengan el volumen verdaderamente utilizado, ya que los medidores utilizados en las franjas de microcaudales no detectan el consumo.

**(2) Índice de Pérdidas Aparentes**

Referente a los indicadores para evaluar las pérdidas aparentes, el Grupo de Trabajo de la IWA continúa investigando y propuso el siguiente índice en el informe publicado en septiembre de 2016 (Notas de Guía de Pérdidas Aparentes y Planificación de la Reducción de Fugas).

[IPA: Índice de Pérdidas Aparentes]

$$\text{IPA} = \frac{\text{Pérdidas Aparentes Anuales Actuales (PAAA)}}{\text{Pérdidas Aparentes Anuales de Referencia (PAAR)}}$$

PAAA: Pérdida Aparente Actual Anual

$$\text{PAAA (m}^3/\text{día)} = \frac{\text{Pérdidas aparentes anuales (m}^3/\text{año)}}{\text{Número de días en los que el sistema está presurizado}}$$

PAAR: Pérdida Aparente Anual de Referencia

$$\text{PAAR} = \text{Consumo facturado medido autorizado (m}^3/\text{día)} \times 5\%$$

La PAAR es un parámetro adoptado estableciendo las siguientes condiciones de una empresa con una buena gestión. Esto no significa que esto es el límite inferior que no se puede bajar más.

- El volumen de errores de lectura puede reducir hasta el 4% del Consumo medido autorizado.

- El consumo no autorizado puede reducir a menos de 1% del consumo autorizado.
- Otros elementos relacionados con las pérdidas aparentes están bajo control.

Muchos países registran muy alto IPA. Los factores son la mala gestión de los medidores y la gran cantidad de consumo de agua por usuarios ilegales. Frecuentemente se observan casos del IPA superior al 5. Sin embargo, si existe una buena gestión de medidores y usuarios, el IPA es inferior al 1.

### (3) Datos del proyecto piloto

Los resultados del proyecto piloto realizado junto con JICA dejaron suponer que las pérdidas comerciales ocupaban alrededor del 40% del volumen total de pérdidas. Basándose en esta premisa, se calculó el IPA en ambas áreas piloto como lo siguiente:

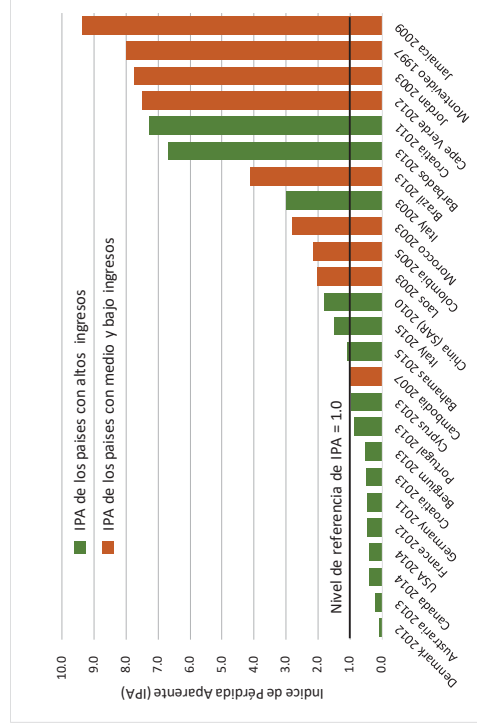
**Tabla 1.4 Evaluación de las pérdidas comerciales en las áreas piloto**

Sitio	Antes de Acción Correctiva		Pérdida comercial (PAAA) (m <sup>3</sup> /día)	(new)Consumos medidos autorizados(a) (m <sup>3</sup> /día)	Pérdida Aparente Anual de Referencia (PAAR)=(a) *0.05 (m <sup>3</sup> /día)	Índice de Pérdida Aparente (IPA) =PAAA / PAAR
	Pérdida total del agua (m <sup>3</sup> /h)	Pérdida real (m <sup>3</sup> /h)				
AZA No.3	40.30	24.20	386.4	964.8	48.2	8.0
MS No.61	18.66	11.20	179.0	792.0	39.6	4.7

Nota1: Consumo medido autorizado en AZA No.3: 27,982 m<sup>3</sup> en 29 días (Septiembre 2017)

Nota2: Consumo medido autorizado en MS No.61: 23,758 m<sup>3</sup> en 30 días (Septiembre 2018)

Fuente: Informe del Proyecto de Cooperación Técnica por JICA - ProGestión



Fuente: Notas de Guía de Pérdidas Aparentes y Planificación de la Reducción de Fugas (15 de septiembre del 2016)

**Figura 1.5 Ejemplo de muestra sobre Índice de Pérdida Aparente**

**Capítulo 2**  
**Concepto de micro y macro sectores**



## Capítulo 2 Concepto de micro y macro sectores

### 2.1 Definición del macrosector

En el presente manual, el macrosector se define como lo siguiente.

#### Macrosector

Un macrosector es una unidad del área de red de distribución hasta donde llega el agua suministrada desde la fuente o el tanque de agua, y es un sector donde se controla el volumen de distribución y el consumo generado en esa área por medio de instrumentos de medición.

#### Macrosectorización

Es un proceso de construcción de macrosectores donde se consideran las condiciones naturales como la ubicación, tamaño, capacidad y topografía de las fuentes de agua, así como las condiciones socioeconómicas como los tipos de usuarios, volumen de demanda del agua y densidad poblacional, con el objetivo de lograr una distribución eficiente con pocas pérdidas de energías basándose en la revisión hidráulica. El número de conexiones estándar de un macrosector es de unos 20,000, aunque varía dependiendo de la densidad poblacional o condiciones locales.

#### 【Condiciones complementarias】

- Se permiten tuberías de conexión entre los macrosectores colindantes para corregir la desigualdad de las condiciones locales de abastecimiento o para distribuir el agua en caso de accidentes o desastres.
- Cuando los macrosectores colindantes están conectados, se debe instalar equipos que permitan medir constantemente el caudal de entrada o salida de ambos macrosectores.
- Cuando los macrosectores colindantes están conectados, se debe instalar válvulas que permitan controlar el volumen de agua entre ambos macrosectores.
- El caudal de entrada y salida de ambos macrosectores debe ser medido y registrado en un intervalo previamente establecido y coincidente con el período de monitoreo del volumen de distribución y el volumen facturado.

### 2.2 Objetivos de la macrosectorización

Los objetivos de la macrosectorización son los siguientes.

- Facilitar la operación de distribución por sectores y aumentar la independencia, solidaridad y simplicidad de la gestión de distribución.
- Intentar adecuar e igualar la presión de distribución dentro del sector y mejorar el servicio de suministro de agua.
- Monitorear constantemente el volumen suministrado en el sector y el volumen consumido por los usuarios y facilitar el análisis del balance hídrico.
- Calcular la tasa de ANF por sectores e identificar eficientemente las áreas con alta incidencia de ANF en la ciudad de Managua.
- Elaborar el balance hídrico por sectores y comprender las características de ANF y las medidas efectivas.

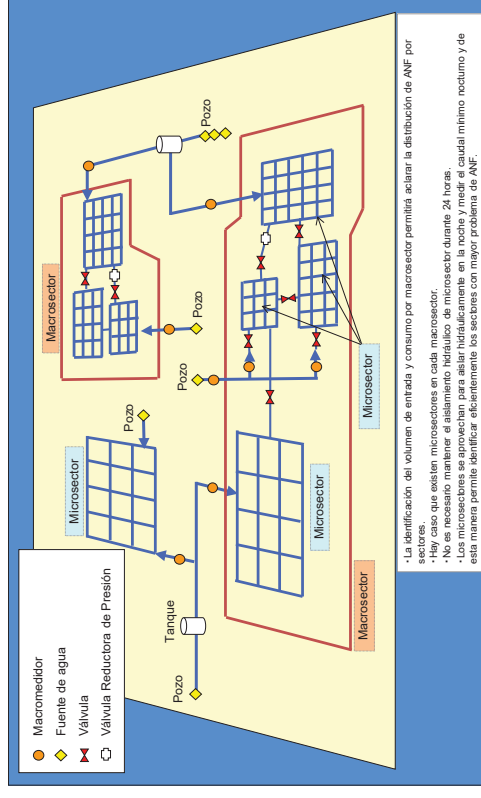


Figura 2.1 Imagen ilustrativa de la gestión de ANF con el uso de los macrosectores

### 2.3 Elaboración de balance hídrico

#### (1) Procedimientos estándares para la elaboración

Los procedimientos estándares para la elaboración del balance hídrico son los siguientes.

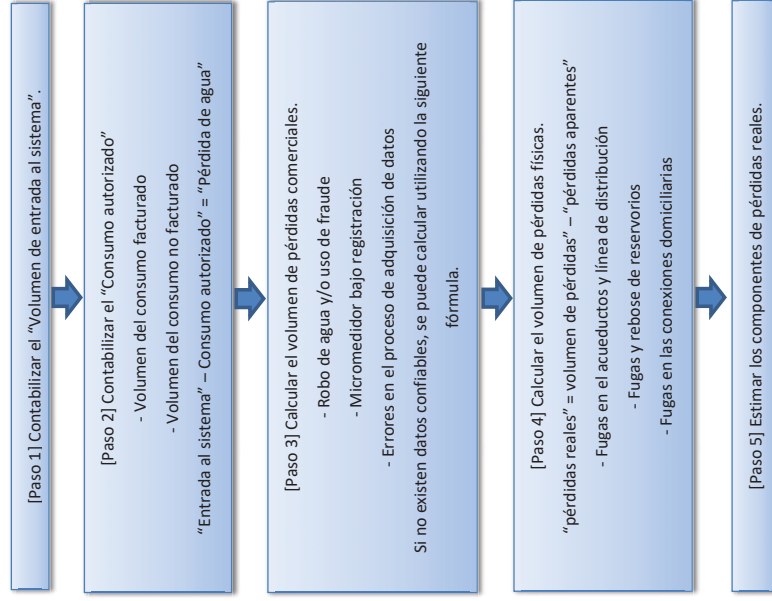


Figura 2.2 Procedimientos de elaboración del balance hídrico

#### [Paso 1] Determinar el volumen de entrada al sistema

Contabilizar el “volumen de entrada al sistema” suministrado a los macrosectores bajo la jurisdicción de la Delegación. Cuando existe la “importación” o la “exportación” de agua entre las Delegaciones, se miden exactamente estos volúmenes para conocer exactamente los caudales suministrados en los macrosectores.

- Agua que se suministra a la red de distribución desde las fuentes
- Agua que se transfiere entre las redes colindantes
- Agua que se compra de otras Delegaciones
- Agua que se exporta hacia otras redes de distribución

Verificar la precisión de los medidores que miden el volumen.

- Establecer la precisión de medidor según manuales de fabricante (por ejemplo, +/-2%)
- Chequear la certeza de medición utilizando un macromedidor de patrón o un caudalímetro de inserción.
- Reemplazar o recalibrar medidores según necesidad
- Corregir el volumen de entrada al sistema por los errores conocidos
- Aplicar el límite de confiabilidad del 95%

#### [Paso 2] Determinar el consumo autorizado

##### Consumo facturado medido

- Extraer el consumo de usuarios de diferentes categorías (por ejemplo, doméstico, comercial, industrial) desde el sistema de facturación.
- Analizar los datos prestando atención especial a los consumidores grandes

Procesar informaciones del consumo facturado medido anual registrada en el sistema de facturación tomando en consideración retraso de tiempo de lectura de medición.

- Asegurar que el período del consumo facturado medido que se utiliza en el auditor es consecuente con el período de auditoría.



- Establecer la precisión de medidor según manuales de fabricante (por ejemplo, +/-2%)
- Aplicar el límite de confiabilidad del 95%

#### Consumo facturado no medido

- Extraer el consumo de usuarios desde el sistema de facturación.
- Identificar y monitorear usuarios domésticos no medidos durante un cierto período, poniendo medidor en la conexión de dichos usuarios o midiendo un área pequeña formada por varios usuarios no medidos. (el último puede evitar al usuario cambiar la costumbre de consumo)

#### Consumo no facturado medido

- Establecer el volumen del consumo medido no facturado por la manera similar a lo para el consumo medido facturado.

#### Consumo no facturado no medido

Esto tiende a sobreestimarse porque el volumen de agua que se utiliza para las operación y mantenimiento se calcula por cierto porcentaje (%) del caudal de entrada.

El componente de los consumos no medido no facturado deberá ser identificado individualmente estimado, por ejemplo,

- ¿Cuántas veces se realiza la limpieza de sitio de la fuente de agua y reservorios?
- ¿Cuánto volumen del agua se utiliza en cada acción?
- ¿Cuánto volumen del agua se utilizó en hidrante para el trabajo de bombero?

[Paso 3] Estimar las pérdidas comerciales

#### Consumo no autorizado

Es difícil proveer la guía general para la estimación del consumo no autorizado. Hay varios factores amplios de la situación de dicho consumo, y cada delegación enfrenta su propia característica de la situación.

- Conexiones ilegales

- Uso irregular de hidrantes
- Consumo por la conexión de bypass o medidor manipulado
- Práctica corrupta de lecturas de medidor
- Agua que se exporta a otras áreas sin control.

La estimación del consumo no autorizado es siempre una tarea difícil y deberá ser realizada en la manera transparente según componente para que la suposición pueda ser chequeada y fácilmente modificada en tiempo posterior.

#### Inexactitud de medición y error en el manejo de datos

Con respecto a la inexactitud de la medición, por ejemplo, el consumo escaso o excesivo marcado en los medidores domiciliarios, es necesario establecer los errores basándose en los resultados del estudio de muestreo de medidores representativos. En el estudio de muestreo, se seleccionan las muestras agrupando por años de uso de medidores o clasificando por fabricantes de medidores.

Las pruebas se realizan en el terreno utilizando el Banco de Pruebas de calidad de dispositivos comprobada o por los funcionarios que tengan técnicas especializadas. La prueba de medidores de los grandes usuarios se realiza usualmente en el terreno utilizando los equipos de pruebas.

Se calcula el volumen de errores de medidores aplicando el promedio de errores de medidores (%) obtenido de los resultados de las pruebas al consumo medido por grupos de consumidores.

El error en el manejo de datos a veces representa un gran factor de pérdidas comerciales. Muchos sistemas de facturación no han llegado al nivel esperado de la empresa, pero este error ha sido abandonado por mucho tiempo y tiende a no ser reconocido. Es posible extraer los datos de facturación de 24 meses al menos y analizar el error en el manejo de datos.

Los problemas identificados deben ser esclarecidos como cifras de errores y calcular el volumen anual de errores.

[Paso 4] Calcular las pérdidas reales (físicas)

El cálculo de las pérdidas reales de manera más simple es lo siguiente:

$$\text{Volumen de Pérdida Reales} = \text{Volumen de ANF} - \text{Volumen de Pérdidas Aparentes}$$

Este valor es útil para el comienzo de análisis en lo que los funcionarios puedan tener una sensibilidad de la magnitud de pérdidas reales. Sin embargo, se debe tener en cuenta de que el balance hídrico podría tener un error y el valor estimado en dicho cálculo podría ser incorrecto.

[Paso 5] Estimación de componentes de las pérdidas reales

Dividir las pérdidas reales en sus componentes de forma precisa es solamente posible con el análisis detallado. Sin embargo, el primer paso de estimación podrá realizarse con el simple análisis:

#### Fugas en los acueductos y/o tubería de distribución

Las rupturas de los acueductos de transmisión es un evento que causa una gran pérdida de agua. Estas son visibles y se reportan desde el lugar de los hechos, por lo tanto usualmente se reparan inmediatamente. Se puede calcular el número de fugas en las tuberías reparadas en un año utilizando los datos de registro de reparaciones. La estimación de la tasa promedio de fuga y el volumen anual de fugas se calcula de la siguiente manera.

$$\text{Número de reventón} \times \text{Ratio promedio de fuga} \times \text{Duración promedio de fuga}$$

Es deseable que cada empresa establezca la duración promedio de fuga por un lugar de fuga a partir de los datos estadísticos, pero si no están disponibles los datos detallados, se puede tomar como referencia las siguientes cifras.

**Tabla 2.1. Volumen de fugas por rupturas**

Ubicación de la ruptura	Tasa de fuga por rupturas reportadas (L/hora/m-Aq)	Tasa de fuga por rupturas reportadas (L/hora/m-Aq)
Acueducto	240	120
Tubería de acometida	32	32

Fuente: Grupo de Trabajo para Pérdidas de Agua, IWA

Además, se puede contabilizar las fugas no detectadas y las pérdidas de fondo.

#### Fugas y rebose en reservorios

El rebose en los reservorios se puede calcular fácilmente si el operador registra el tiempo de duración de fuga y el caudal promedio.

En caso de las fugas, se puede calcular cerrando momentáneamente la válvula de entrada y la válvula de salida del reservorio y midiendo la caída de niveles de agua por un determinado tiempo.

#### Fugas en tuberías de acometida y conexiones domiciliarias

Se puede estimar el volumen de pérdidas desde las tuberías de acometida y conexiones domiciliarias restando del Volumen Total de Pérdida Física el volumen de fugas desde el acueducto y el volumen de fugas y rebose desde el reservorio.

(2) WB-Easy Calc

“WB-Easy Calc” es una herramienta que brinda apoyo al cálculo del balance hídrico.

Es una hoja de cálculo desarrollada por un equipo conformado por Liemberger y otros con el patrocinio del Banco Mundial. Cualquier persona involucrada en las medidas de ANF puede hacer el uso de esta aplicación gratuitamente.

La gran ventaja de Easy Calc es que permite considerar el factor de exactitud de los datos físicos ingresados al sistema.

Por ejemplo, cuando ingresa al sistema el volumen de producción, el usuario necesita estimar la exactitud de los datos basándose en el modelo del caudalímetro o los años de uso. Aparte del factor de exactitud del volumen, también se puede establecer en porcentaje (%) el factor de exactitud de los errores de medidores y otros datos estimados.

Por ejemplo, cuando Easy-Calc calcula la tasa de ANF como 21% y su exactitud, +/-66%, se entiende fácilmente que actualmente la tasa de ANF oscila entre 7% y 35%.

Figura 2.3 Herramienta de elaboración del balance hídrico (Banco Mundial)

(3) Uso del límite de confiabilidad de 95%

Algunas cifras del balance hídrico incluyen valores estimados, errores varios o elementos inciertos, por lo que es importante comprobar la veracidad del volumen calculado de pérdidas y ANF.

El “Uso del límite de confiabilidad de 95%” conocido estadísticamente se estableció como un proceso de evaluación del grado de incertidumbre que tienen los componentes del balance hídrico. Esta teoría se fundamenta en las siguientes reglas.

La distribución normal es una de las distribuciones más representativas. Por ejemplo, los errores que poseen los valores medidos de caudales y presión muchas veces obedecen a la distribución normal. Cuando la media es  $\mu$ , las cifras con 95% de confiabilidad se encuentra en el rango de  $+/- 1.96\sigma$ , y este rango se denomina como límite de confiabilidad de 95%.

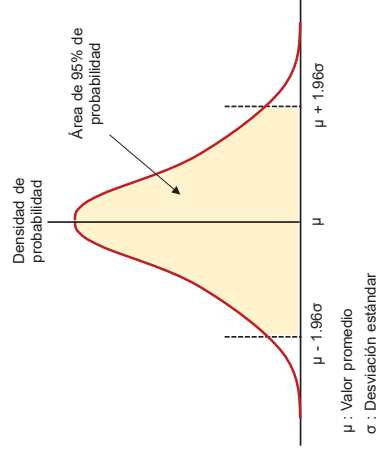


Figura 2.4 Límite de confiabilidad de 95%

En el balance hídrico, los resultados calculados a partir del valor estimado tienen mayor rango de límite de confiabilidad en relación a los resultados calculados a partir del valor medido confiable. Para cada parámetro ingresado al sistema a partir del valor medido y parámetro ingresado al sistema a partir de la estimación, habría que establecer el rango de exactitud como “+/- \*\*%”, por lo que el valor real existe en la probabilidad del 95%. Entre más precisos los datos, más pequeño el límite superior/inferior del rango de exactitud.

Varianza = Media cuadrática de la diferencia entre el valor medido y la media  
Desviación estándar = Indica el nivel de dispersión de los datos (Varianza)<sup>0.5</sup>

El valor de varianza se calcula en base al límite de confiabilidad de 95% y sobre las cifras de cada componente. Los componentes con mayor valor de varianza poseen mayor impacto sobre la exactitud en relación al volumen derivado. Es decir, el volumen calculado en el balance hídrico posee mayor incertidumbre según el valor de varianza de los respectivos datos ingresados al sistema.

El uso del límite de confiabilidad de 95% en el balance hídrico sirve para identificar los componentes con mayor valor de varianza e implica conocer el impacto más grande sobre la exactitud del valor finalmente calculado. En otras palabras, una vez conocido esto, se entiende que es necesario tomar las medidas para mejorar la exactitud de los componentes que tenga gran impacto sobre la precisión de los resultados.

Por ejemplo, cuando el valor ingresado es 1,000 y el error en la confiabilidad de 95% es +/-2%, se obtiene la siguiente distribución normal. Es decir, el rango de confiabilidad es +2% y -2% de 1,000.

Estadísticamente se conoce que el rango de confiabilidad de 95% se encuentra en el tramo +/-1.96σ de la media, por lo tanto, en este caso, la desviación típica (σ) se puede calcular de la siguiente manera.

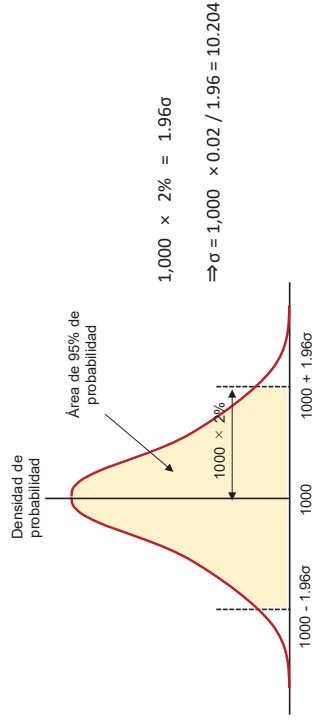


Figura 2.5 Método para obtener la desviación típica a partir del valor ingresado

De esta manera, calculando la desviación típica y la varianza a partir del valor ingresado y los errores en el balance hídrico, se puede comprobar el rango del límite de exactitud que posee la tasa de ANF o el volumen de pérdidas.

Tabla 2.2 Ejemplo para comprobar el límite de confiabilidad del 95% en el balance hídrico

Componente	Origen de valor	Volumen (V) [m <sup>3</sup> /día]	Límite de Confiabilidad de 95% (LC)	Desviación Estándar (DE) $V \times LC / 1.96$	Varianza	
					DE <sup>2</sup>	DE <sup>2</sup>
Volumen que ingresa al sistema	Medido	300,000	+/- 2.0	→ 3,061	→	9,389,721 (a)
Consumo facturado autorizado	Medido	200,000	+/- 1.0	→ 1,020	→	1,040,400 (b)
Volumen de ANF	Derivado	100,000	+/- 6.3	← 3,226	←	10,410,121 (a)+(b)
Consumo no facturado autorizado	Estimado	5,000	+/- 50.0	→ 1,275	→	1,625,625 (c)
Pérdida de agua	Derivado	95,000	+/- 7.2	← 3,469	←	12,035,746 (a)+(b)+(c)
Pérdida comercial	Estimado	30,000	+/- 30.0	→ 4,591	→	21,077,281 (d)
Pérdida física	Derivado	65,000	+/- 17.4	← 5,754	←	33,113,027 (a)+(b)+(c)+(d)
			xxx			

Valor derivado por el cálculo de rumbo contrario

## 2.4 Definición del microsector

En el presente manual, el microsector se define como lo siguiente.

### Microsector

Un microsector es el sector de gestión de fugas más pequeño creado en las redes de distribución de la ciudad de Managua. Se utiliza para estimar el volumen de pérdidas generadas en el sector a través de la medición del caudal mínimo nocturno ( $Q_{min}$ ) que entra al microsector después del aislamiento hidráulico sólo en la noche cuando hay menos demanda de agua.

### **【Condiciones complementarias】**

- Se permite la conexión de agua entre las redes de distribución colindantes, sin embargo, se debe instalar válvulas en los lugares establecidos y permitir el aislamiento hidráulico de la red de tuberías de distribución (aislar de las redes de distribución de su alrededor) cuando sea necesario.
- Se permite la entrada desde un lugar o varios lugares.
- Aunque la instalación del caudalímetro en la entrada no es una condición absoluta, se instala un equipo móvil de medición de caudales para permitir la medición del caudal de entrada en la noche.

### Microsectorización

Es un proceso de establecimiento de sectores de gestión de fugas tomando en cuenta las condiciones de redes de distribución, volumen de demanda de agua, densidad de usuarios, etc. Desde el punto de vista de eficiencia del desarrollo de las actividades de reducción de las fugas en un sector, es deseable establecer unas 500-3,000 conexiones por un microsector.

Un microsector ideal es un sistema hidráulicamente aislado siempre 24 horas, de las redes de distribución de su alrededor para poder comparar el volumen suministrado al sector con el volumen consumido en un período establecido. Este sistema se denomina como "Distrito Hidrométrico (DHM)". Para construir un DHM, se requiere un enorme costo y tiempo, ya que se tiene que realizar cálculos hidráulicos en base a los datos de tuberías de distribución y construir redes de tuberías que no generen una notable falta de demanda de agua.

La diferencia entre un DHM y un microsector es la siguiente.

### Diferencia entre un DHM y un microsector

Un Distrito Hidrométrico (DHM) significa un "área separada que permite gestionar el volumen de suministro por medio de caudalímetros". Se puede medir el volumen de pérdidas de un cierto período en un DHM, midiendo con caudalímetros el caudal de entrada desde un lugar o varios lugares y restando de ese caudal la suma de consumo de todas las viviendas registrado en los medidores instalados en cada vivienda del área separada.

Existen 3 tipos de DHM como se muestra en el siguiente esquema.

Tipo 1: DHM con un punto de entrada

Tipo 2: DHM con más de 2 puntos de entrada

Tipo 3: DHM con un punto de entrada y un punto de salida hacia el DHM colindante

Los microsectores construidos en Managua cuyas redes de distribución están hidráulicamente independientes o que permiten medir los caudales que entran y salen del microsector colindante son considerados iguales que DHM.

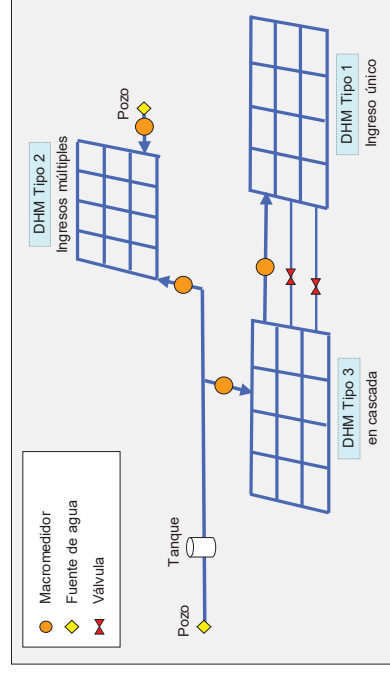


Figura 2.6 Tipos de DHM

## 2.5 Objetivos de microsectorización

Los objetivos de la microsectorización son los siguientes.

- Aislar algunas redes de distribución de sus alrededores en la noche, luego medir el caudal mínimo nocturno ( $Q_{minf}$ ) y obtener la información global del volumen de pérdidas generadas en ese sector.
- Dividir el  $Q_{minf}$  entre el número de usuarios existentes en el sector y calcular el caudal mínimo nocturno ( $Q_{minf}/conexión$ ) por una conexión.
- Comparar el  $Q_{minf}/conexión$  de todos los microsectores de la ciudad de Managua, identificar los sectores con alta sospecha de existencia de ANF y tomar las medidas de reducción de ANF eficientes y efectivas.
- Es deseable medir al menos una vez al mes el caudal mínimo nocturno de los microsectores que requieren las medidas y comprobar periódicamente los efectos de las medidas.

Algunos microsectores poseen condiciones para un aislamiento hidráulico total de 24 horas. Estos microsectores se denominan como Distrito Hidrométrico y pueden ser utilizados para conocer la situación de ANF por microsectores.

En la ciudad de Managua, la prioridad urgente es conocer la distribución sectorial de ANF. Para ello, se realiza la demarcación de los límites de macrosectores bajo la jurisdicción de las Delegaciones para coincidirlos con los límites reales de distribución. Una vez lograda la comparación de incidencias de ANF por macrosectores, se desarrolla la microsectorización del macrosector con mayor severidad de ANF.

Para la microsectorización, se debe estudiar suficientemente la situación actual de las redes de tuberías de distribución y realizar un análisis hidráulico para que el diseño no produzca la falta de presión de suministro. Para lograr un aislamiento hidráulico total del microsector, es indispensable contar con la información detallada de las redes de tuberías y se requiere un enorme costo y labor para el estudio. Por consiguiente, se prioriza la creación de microsectores que permitan medir el caudal nocturno, en vez de pretender construir un DHM a cualquier costo.

## 2.6 Medición del caudal mínimo nocturno de los microsectores

Para medir el caudal mínimo nocturno de los microsectores, es necesario seleccionar un método adecuado dependiendo de la situación de cada microsector.

El flujo de selección del método de medición es el siguiente.

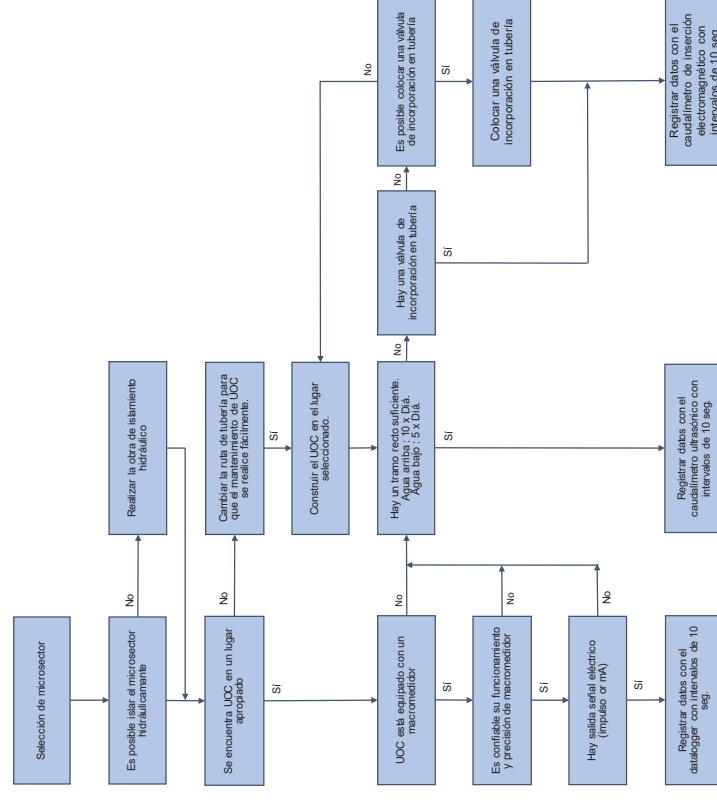
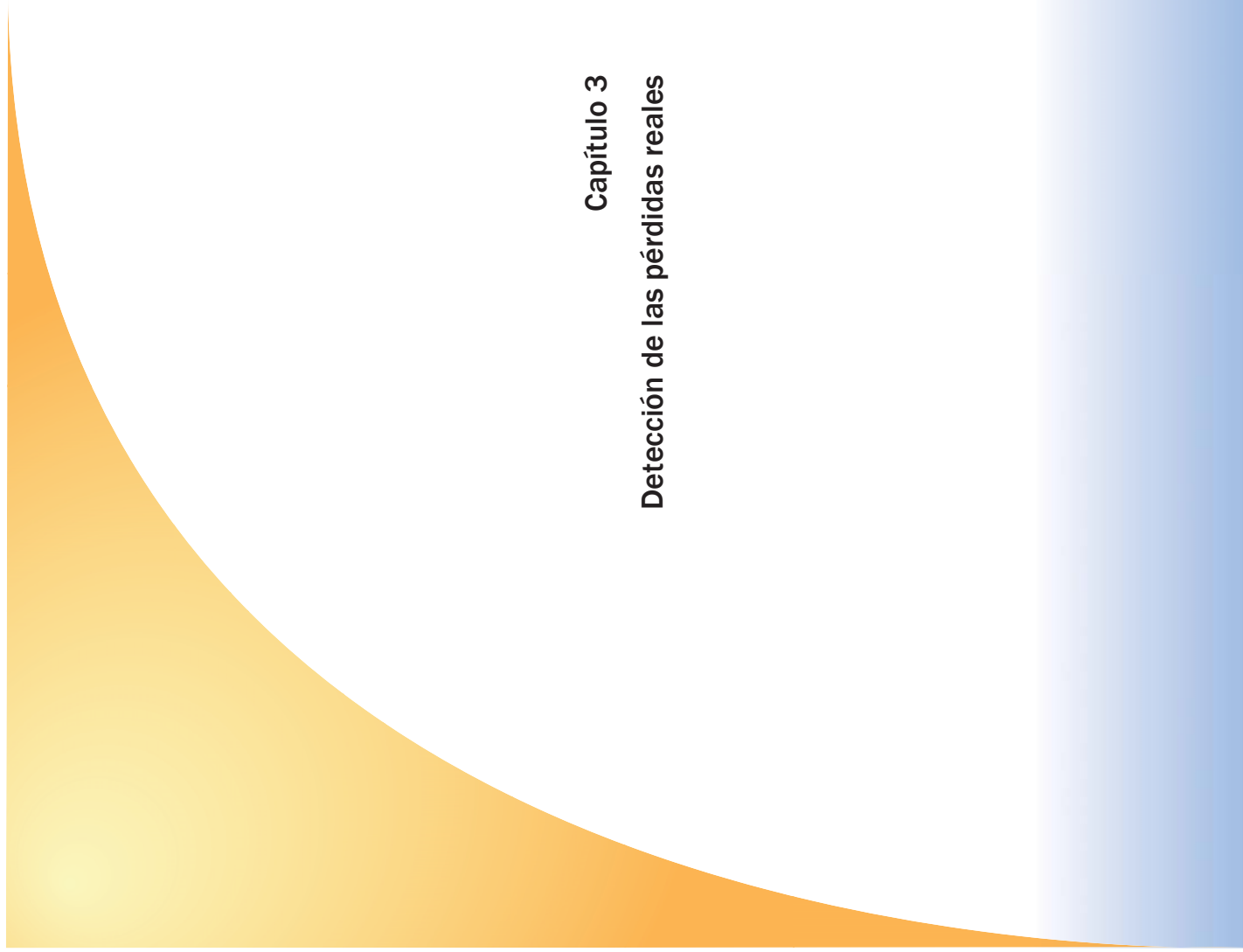


Figura 2.7 Flujo de selección del método de medición del caudal mínimo nocturno

**Capítulo 3**  
**Detección de las pérdidas reales**



## Capítulo 3 Detección de las pérdidas reales

### 3.1 Clasificación y métodos de detección de las fugas de agua

La detección de las fugas de agua en este manual se refiere a la localización de las fugas de agua provenientes de las tuberías de distribución enterradas bajo tierra.

Entre las tecnologías de detección de fugas, la más generalizada es el “método de detección acústica”. Es un método para localizar la fuente del sonido de fugas utilizando la capacidad auditiva, también puede denominarse como “método de detección de fuentes sonoras”. Hay otro método que analiza el sonido de fugas desde el punto de vista de frecuencia y nivel de presión sonora (SPL), y esto se denomina como “método de análisis de fuentes sonoras”.

Otros métodos que no dependen de la capacidad auditiva son el Radar de Penetración de Suelo, la detección de fuentes de calor y la espectrometría de masas, entre otros. A continuación, se explicarán los principios y las metodologías.

Asimismo, se explicarán otras tecnologías aplicadas como la compresión de aire y la detección por caída de presión.

#### Método de detección acústica

El método de detección acústica es un método para identificar la presencia de fugas y localizar su posición exacta escuchando el sonido de fugas con una varilla acústica (vara de escucha) o un geófono electrónico localizador de fugas (microfono de tierra o geófono localizador con audífono). En el método de detección acústica, se debe analizar el sonido proveniente de la tubería de agua clasificando en 3 formas: “Sonido de fugas”, “Falso sonido de fugas” y “Sonido de interferencia (ruido)”.

[Varilla acústica]

La varilla acústica tiene larga historia de uso y es el punto de origen de diferentes localizadores de fugas en los que se aplica la ingeniería electrónica de los últimos años. Su estructura consiste en un estetoscopio sin amplificador electrónico con un diafragma instalado en el extremo de la varilla de acero.

Se utiliza para identificar la presencia de fugas de agua en contacto directo con el medidor de agua, tubería de abastecimiento, válvula y otros componentes en el extremo de la varilla metálica y escuchar con audífono la resonancia del sonido propagado a través de la varilla mediante el diafragma.

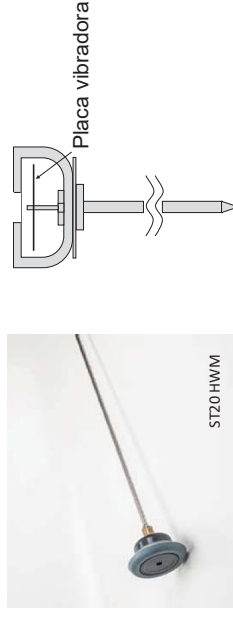


Figura 3.1 Varilla acústica

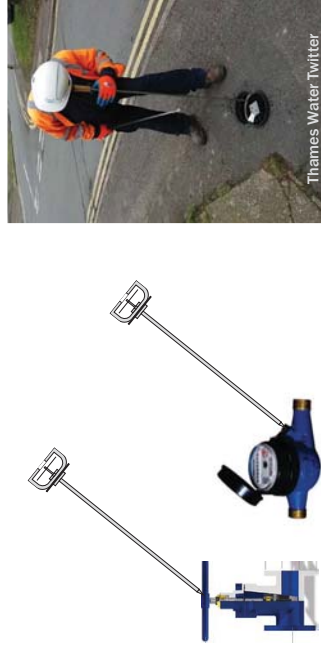


Figura 3.2 Modo de uso de la varilla acústica



[Varilla acústica electrónica]

Una varilla acústica con amplificador electrónico se denomina como varilla acústica electrónica. Utiliza la misma varilla de acero redonda como una varilla acústica común, pero con la amplificación electrónica de sonido de vibraciones para que las personas con reducida capacidad auditiva también puedan captar el sonido de fugas.



Aqua Test T10, Sewerin



Figura 3.3 Varilla acústica electrónica

[Geófono electrónico localizador de fugas]

El geófono electrónico localizador de fugas también se denomina como geófono localizador de fugas con audífono y consiste en una pastilla de transductor y la base del aparato.

La pastilla colocada en el suelo detecta el sonido de vibraciones proveniente de la fuga, la base del aparato amplifica eléctricamente estas señales y se escucha ese sonido con audífono notando cambios. Además, no sólo puede escuchar el sonido sino también puede indicar en cifras los niveles de volumen del sonido para determinar la presencia de fugas y localizarlas según los niveles sonoros.



DNR-18 Fujitecom



XMic Palmer

Figura 3.4 Geófono electrónico localizador de fugas

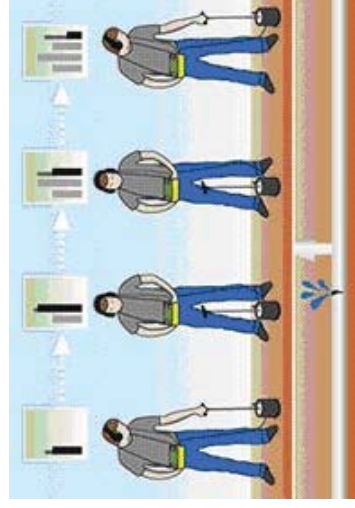


Figura 3.5 Modo de uso del geófono electrónico localizador de fugas

### Método de análisis de fuentes sonoras

El método de detección acústica es rápido y fácil, sin embargo, el sonido de fugas conlleva diferentes cualidades del sonido, por lo que el éxito depende de la capacidad sensorial de audición humana. Es decir, el método de detección acústica demanda cierta pericia para detectar fugas, y para formar a los técnicos en detección y mejorar su capacidad técnica se requieren costos y labores correspondientes.

El método de análisis de fuentes sonoras no depende del grado de pericia humana sino del análisis de la frecuencia, la presión sonora y el sonido de fugas. En este método están establecidas y aplicadas las tecnologías de “detección de fugas por correlación” y “detección de fugas por correlación multipuntos”.

#### [Detección de fugas por correlación]

Usualmente, las tuberías de agua tienen una presión interna, por lo tanto, cuando se generan fugas, desde ese lugar se generan sonidos irregulares y continuos de vibraciones. Se instalan sensores (portátiles) en dos puntos de una tubería donde está entrenado el lugar de la fuga, en la base del correlador se computarizan las diferencias en las ondas de fugas detectadas y se muestra en la pantalla la distancia hasta el punto de la fuga.

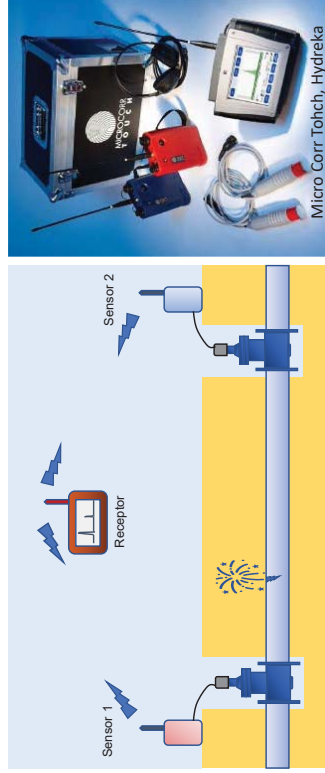


Figura 3.6 Detección de fugas por correlación

#### [Detección de fugas por correlación multipuntos]

Es un localizador de fugas tipo registrador de datos (Datalogger) no inalámbrico. Tiene un máximo de 12 sensores y permite instalar en 12 puntos simultáneamente. Los datos se registran en la memoria integrada en el sensor. Después de recoger los datos, se realiza el análisis de correlación con un software de aplicación en la base del correlacionador.

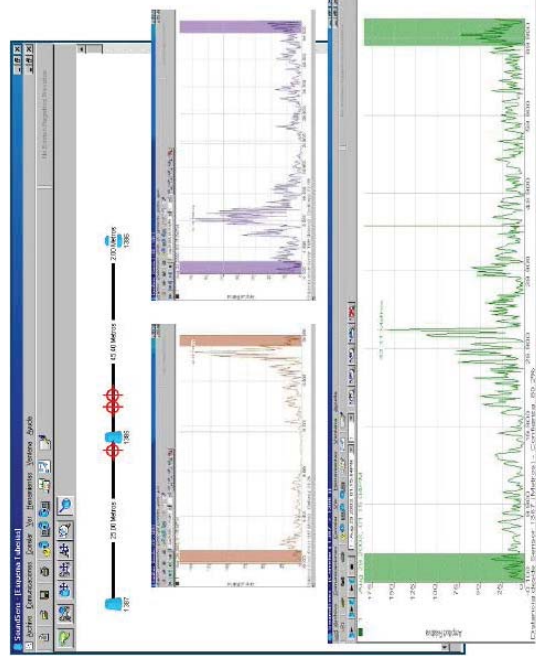


Figura 3.7 Detección de fugas por correlación multipuntos

## [Sonómetro]

Se instalan sensores tipo registrador de datos en los componentes no enterrados como extintores, válvulas de cierre y medidores, y se memorizan datos de presión sonora durante el tiempo de medición. Se realiza el análisis tridimensional de estos datos con un software especial para identificar la tubería donde se detectaron sonidos anormales y determinar la presencia de fugas.



**Figura 3.8 Sonómetro**

**Espectrometría de masas  
Método de localización física**

Son métodos que no dependen del sonido de fugas. Entre ellos, hay métodos de detección de fugas con gas de rastreo, termografía, Radar de Penetración de Suelo, etc.

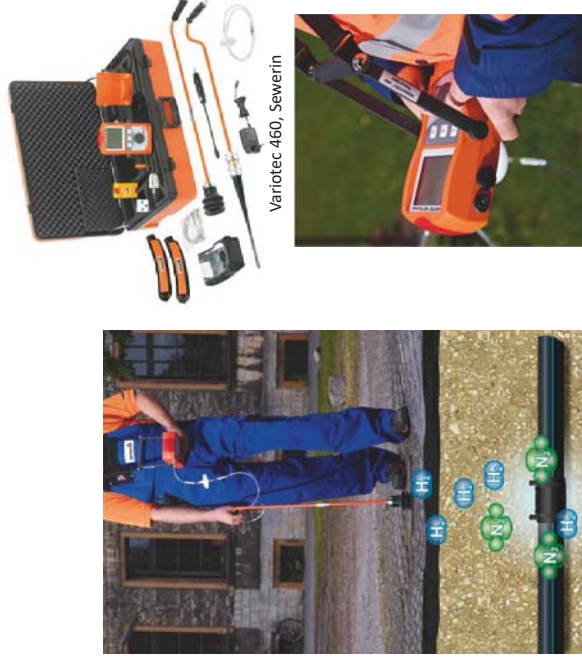
## [Método de detección de fugas con gas de rastreo]

Es un método que inyecta los gases nobles (gas helio) o la mezcla de  $H_2+N_2$  (hidrógeno + nitrógeno) a la tubería para detectar en la superficie del suelo las fugas de gases desde la grieta de la tubería o del lugar de la fuga de agua.

El gas helio es un gas noble, químicamente estable y no participa en las reacciones químicas. Tiene una pequeña masa molecular de 4.00 y su gravedad específica es de 0.14 cuando el aire es 1. Sin embargo, en la atmósfera existe una mínima cantidad, por lo tanto, no es económico separarlo del aire como el caso del oxígeno o nitrógeno. Para producir el gas helio a nivel comercial, generalmente se utiliza el método de separación y refinación del gas natural, aunque el precio puede subir dependiendo del equilibrio entre la demanda y la oferta.

Por otro lado, el hidrógeno es el elemento más ligero de todos los elementos químicos y es un componente del agua junto con el oxígeno. En los últimos años, se ha comercializado un dispositivo de producción de hidrógeno y nitrógeno a partir del aire para utilizar como gases de rastreo en la detección de fugas de agua, por lo que se espera que en el futuro se utilice más este

método de detección.



**Figura 3.9 Método de detección de fugas con gases de rastreo (hidrógeno/nitrógeno)**

## [Termografía]

Se utiliza la termografía, un equipo de detección de rayos infrarrojos.

Capta la radiación infrarroja de los objetos. La termografía infrarroja visualiza la energía infrarroja emitida de todos los objetos en el sensor infrarrojo pasivo a través de un lente y computariza digitalmente los valores convertidos eléctricamente en temperaturas para mostrar imágenes en la pantalla.

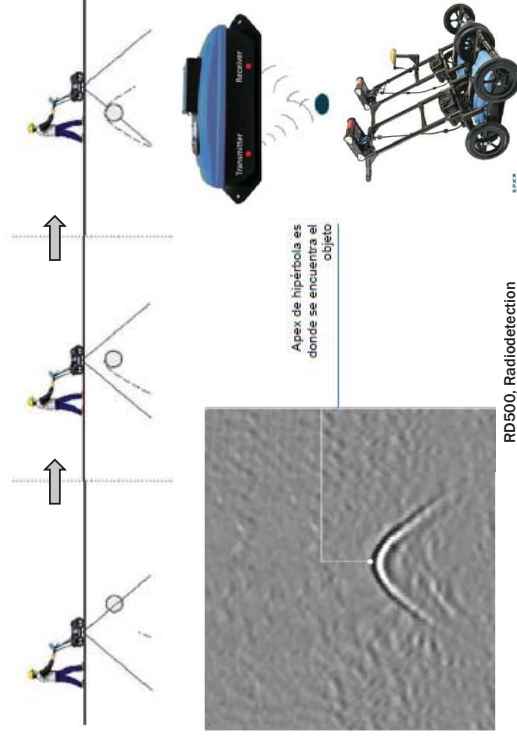
El fenómeno de las fugas de agua produce diferencias de temperaturas en la superficie del suelo cuando la tubería está enterrada en la capa no profunda, y en caso de las estructuras de concreto, frecuentemente produce la variación de la temperatura en la superficie del revestimiento.

En las zonas con mayor incidencia de la nieve, se observan frecuentemente en las primeras nevadas el fenómeno de no acumulación de nieve sobre la superficie donde existen fugas. Si las fugas ocurren permanentemente, se puede medir diferencias de temperaturas con la termografía, el termómetro de infrarrojos, etc.

#### [Radar de Penetración de Suelo]

Se emiten ondas eléctricas desde la antena de la superficie hacia el suelo subterráneo, luego se reciben las ondas rebotadas por las estructuras enterradas bajo suelo. A través del análisis del tiempo de ida y vuelta y la intensidad de las ondas, se obtienen las imágenes de los objetos enterrados bajo suelo para conocer sus condiciones.

Al desplazar el dispositivo emisor con antena a lo largo de la superficie del suelo, se puede mostrar las imágenes continuas de las condiciones de las estructuras enterradas bajo suelo. Se puede obtener cierta información de los objetos eléctricamente diferentes a la tierra (tubos enterrados, huecos, aguas subterráneas, etc.), aunque es difícil sustituir al geófono localizador de fugas, por lo que se utiliza como equipo complementario para el trabajo de detección de fugas o estudio de las rutas de instalación de tuberías.



RD500, Radiodetección

Figura 3.10 Radar de Penetración de Suelo

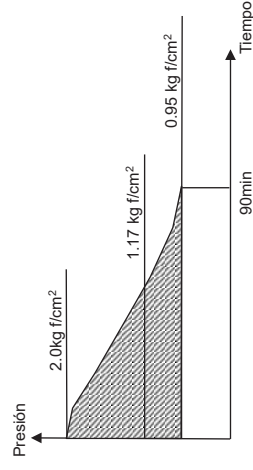
#### Otros métodos

Cuando las fugas son pocas o en los suelos saturados de aguas subterráneas, difícilmente se producen sonidos. Existen siguientes métodos de detección de fuentes de fugas derivados de la detección del sonido.

- Método donde se calcula el volumen de fugas según los niveles de caída de presión durante la prueba de hermeticidad
- Método donde una persona experimentada verifica el sonido de chorro de fugas en el lugar perforado (para suelos saturados de aguas subterráneas)
- Método donde se detecta el fenómeno de la fuga filtrando el aire en vez del agua

#### [Detección por caída de presión]

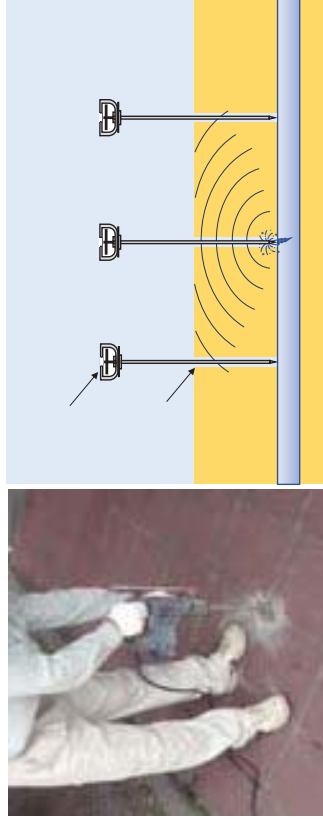
Se cierran con válvulas ambos extremos de la tubería de agua objeto de medición. Si no hay ninguna fuga, la presión del interior de la tubería no baja, pero si hay fugas, la presión va bajando poco a poco. La medición de la tendencia de estas caídas de presión permite calcular el volumen aproximado de las fugas tomando como referencia el volumen interior de la tubería, el coeficiente de Poisson y el módulo de Young del material del tubo, etc.



Esto es un ejemplo de la caída de presión en 90 minutos desde la presión inicial de 2.0kgf/cm<sup>2</sup> a 0.9 kgf/cm<sup>2</sup>.  
En un tubo de PVC de diámetro 150mm, L=323m, se produjo una fuga de 0.002524m<sup>3</sup> ÷ 2.5L en 90 minutos. (Para mayores detalles, véase el Capítulo 5.)

Figura 3.11 Cálculo de volumen de fugas mediante la detección por caída de presión

[Perforación]



**Figura 3.12** Detección de fugas de agua con la perforación

[Compresión de aire]

Es un método para detectar las fugas donde se establece un tramo donde se puede cerrar ambos extremos con válvulas, se inyecta el aire con un compresor de aire para aumentar la presión y se produce sonidos de fugas de aire desde la grieta de la tubería.

La masa del aire pesa  $1\text{m}^3=1.25\text{kg}$ , por lo tanto, satisface la condición de medio alternativo a la generación de sonido de fugas de agua.

Usualmente, el aire filtra 10-20 veces mayor en volumen de aire en comparación con las fugas de agua, por lo tanto, se puede localizar la posición exacta de la fuga. Sin embargo, posiblemente también se detectan otros sonidos aparte de las fugas, ya que la velocidad del viento en el interior de la tubería aumenta a más de 20-50m/s y se produce un tono de borde como si fuera un viento huracanado debido al cierre incompleto de las válvulas, los codos deformados y las curvas.

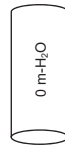


**Figura 3.13** Imagen de inyección de aire

A diferencia del agua, el aire es un gas con mayor tasa de compresión y expansión, por lo tanto, es necesario realizar la detección considerando suficientemente el volumen del tubo y la configuración de presión para fugas, etc. para no dañar la tubería.

La presión de aire varía dependiendo del volumen comprimido. Por ejemplo, al introducir doble cantidad del volumen dentro del tubo, la presión manométrica no se duplica sino la presión se calcula por el volumen comprimido. Según esta teoría, bajo la misma presión, el volumen de aire que fuga de la grieta de la tubería es entre 10 y 20 veces mayor que el volumen de agua.

$$\frac{\text{Volumen de aire antes de comprimir}}{\text{Volumen de aire después de comprimir}} = \frac{\text{Presión absoluta antes de comprimir (atmósfera)}}{\text{Presión absoluta después de comprimir (atmósfera + presión manométrica)}}$$



En un estado donde  
Atmósfera 1atm = 101.3 kPa (presión absoluta) y  
Volumen dentro del tubo = 1m<sup>3</sup>, el volumen de aire en el tubo es de 1m<sup>3</sup> porque aún no se ha comprimido.

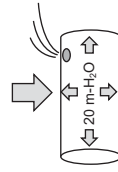


Al introducir el aire y aumentar la presión manométrica del tubo hasta 25m, la presión absoluta dentro del tubo en este momento es

$$101.3 + (9.8 \times 25) = 346.3 \text{ kPa}$$

Por tanto, se introdujo el aire equivalente al volumen de aire antes de comprimir de

$$1 \text{ m}^3 \times 346.3 \text{ kPa} / 101.3 \text{ kPa} = 3.4 \text{ m}^3.$$



Cuando hay fuga de aire desde el orificio de la fuga de agua y la presión manométrica del tubo baja hasta 20m, la presión absoluta dentro de tubo en este momento es

$$101.3 + (9.8 \times 20) = 297.3 \text{ kPa}$$

Por tanto, queda en el tubo el aire equivalente al volumen de aire antes de comprimir de

$$1 \text{ m}^3 \times 297.3 \text{ kPa} / 101.3 \text{ kPa} = 2.9 \text{ m}^3$$

y existe una fuga de aire de aproximadamente 0.5m<sup>3</sup>.

Figura 3.14 Cálculo del volumen de aire

### 3.2 Mecanismo de generación de sonido de fugas de agua

En esta sección, se explicarán el mecanismo de generación de sonido de fugas de agua, la propagación y la atenuación de sonido de fugas y las diferencias de frecuencias de sonido de fugas según el material del tubo y según el diámetro.

Asimismo, se explicará cómo afecta esta diferencia de sonidos sobre la precisión en la detección, y los factores que impiden la detección de fuentes sonoras (saturación de aguas subterráneas, baja presión de agua, etc.).

#### 3.2.1 Clasificación de sonidos de fugas

Cuando hay una fuga de agua en una tubería con presión, se produce un sonido incesante desde ese orificio de la fuga. El sonido de la fuga es producto de la síntesis de los siguientes 4 tipos de sonidos y se propaga en forma compuesta. Asimismo, el volumen y la calidad del sonido de fugas varían dependiendo del material, diámetro, presión, forma del orificio de la fuga, volumen de la fuga y el suelo de su alrededor.

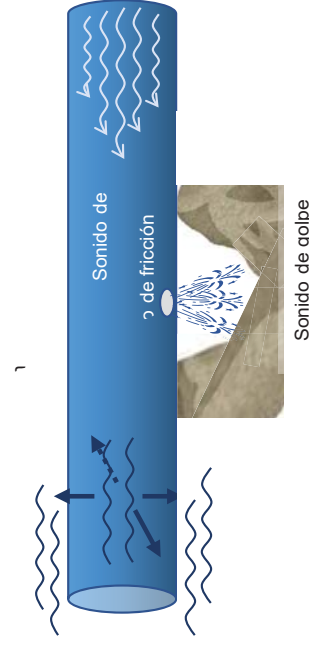


Figura 3.15 Tipos de sonidos de fugas

### 3.2.2 Características de sonido de fugas

El sonido de fugas se refiere al sonido que se produce cuando el agua se filtra desde las grietas o acoplamientos de la tubería hacia afuera, y se clasifica en el sonido generado primario y el sonido generado secundario.

#### Sonido generado primario

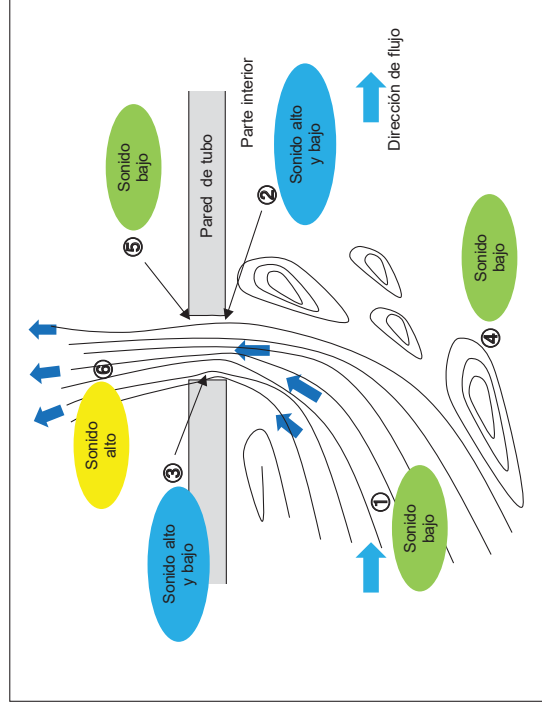


Figura 3.16 Relación entre el flujo de agua y el sonido de fugas

- Tono bajo generado desde el vórtice del flujo de agua dentro de la tubería (1) y (4)
  - Tono de borde debido a la punta del orificio de la fuga (2)
- El tono de borde se genera cuando el flujo de agua que intenta salir de un orificio pequeño colisiona con la punta aguda del borde del orificio. En muchas veces, el rango de frecuencia es relativamente alta.
- En la pared interior del orificio, se observa el fenómeno de colapso del vórtice del chorro de agua debido al Efecto Coanda. En la pared lateral, el chorro de agua repite la

adhesión/desprendimiento y se generan fluctuaciones de ultra baja frecuencia en la presión interna del agua. El rango de frecuencia de estas fluctuaciones de presión es ultra baja (1-10Hz), por lo que este sonido de fugas es inaudible para el oído humano (3).

- El sonido que sale desde el borde de la parte dañada hacia el interior del agua bajo suelo tiene un tono bajo en relación a la parte de hueco. Cuando el alrededor del orificio de la fuga está lleno de agua, el sonido de fugas tiende a ser absorbido (5).
- El sonido que sale desde el borde de la parte dañada hacia la parte de hueco bajo suelo tiene un sonido relativamente alto por la mezcla de agua y aire (6).

#### Sonido generado secundario

Las fugas de agua producen los siguientes dos tipos de sonido generado secundario.

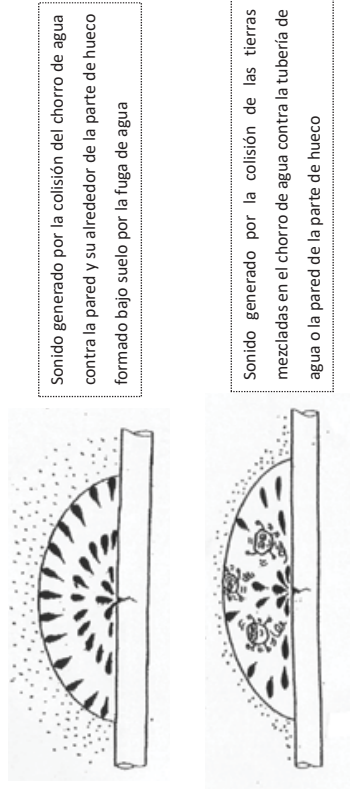


Figura 3.17 Relación entre el flujo de agua y el sonido de fugas

### Sonido generado y frecuencia

Los tonos alto y bajo del sonido de fugas dependen del lugar de generación. La relación entre el sonido de fugas y la frecuencia es la siguiente.

- Las características de la frecuencia del sonido de fugas se distribuyen ampliamente desde el tono bajo (1.0kHz o inferior) hasta el tono alto (10kHz o superior).
- Dicen que el sonido fácilmente audible por el oído humano es de 0.5kHz a 2.0kHz.
- El volumen y la calidad del sonido de fugas varían dependiendo de las diferentes condiciones, entre ellas, material, grosor y diámetro del tubo, presión de agua, forma de orificio de la fuga, etc. y nunca se produce el mismo sonido. Por esta razón, el método de detección acústica requiere un alto nivel de pericia.

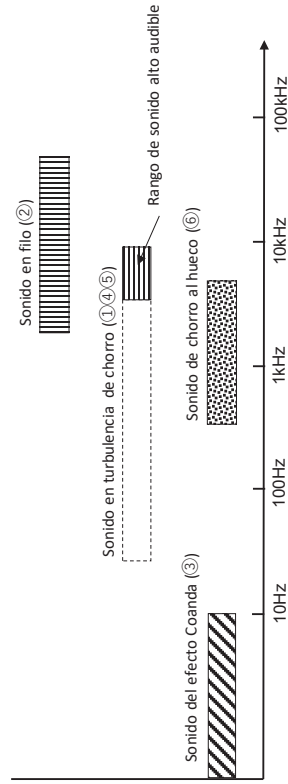


Figura 3.18 Rango de frecuencia de sonido de fugas

### Variaciones por el ambiente del sonido de fugas

- No se produce el mismo sonido de fugas. Debido a la diversidad de condiciones como forma de la parte dañada, material y condiciones de enterramiento del tubo, presión de agua, etc., nunca se produce el mismo sonido de fugas.

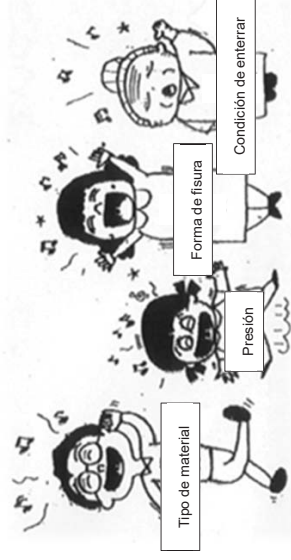


Figura 3.19 No se produce el mismo sonido de fugas

- Usualmente, no cambia con el transcurso del tiempo. Cuando cambia el sonido de fugas es cuando cambia la presión interna de la tubería. Dependiendo del uso de agua, la presión interna de la tubería cambia drásticamente, como resultado, el sonido de fugas puede cambiar con el transcurso del tiempo.

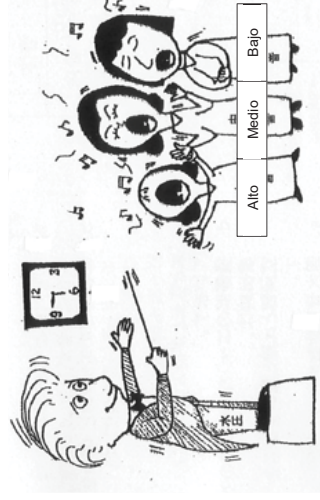


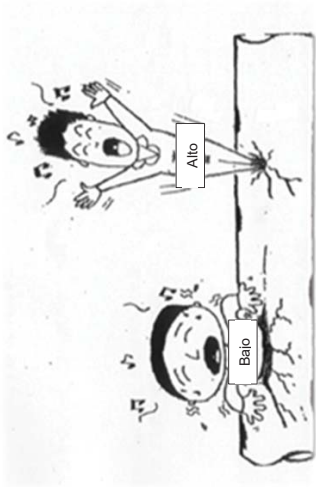
Figura 3.20 No cambia con el transcurso del tiempo



- El sonido cambia según el tamaño de la boca dañada y la velocidad del chorro.

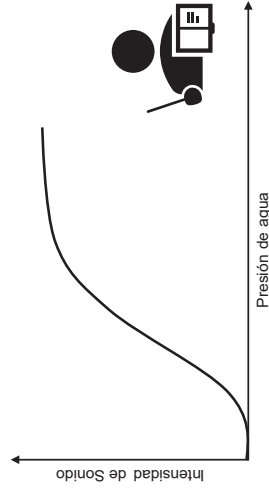
Entre más alta la velocidad del flujo en la boca de fuga dañada, más alto el tono, mientras entre más baja la velocidad del flujo, más bajo el tono.

Es decir, cuando el orificio de la grieta es pequeño y la presión es alta, suele generar un tono alto, mientras cuando el orificio de la grieta es grande y el caudal del chorro es grande, suele generar un tono bajo.



**Figura 3.21** El sonido cambia según el tamaño de la boca dañada y la velocidad del chorro

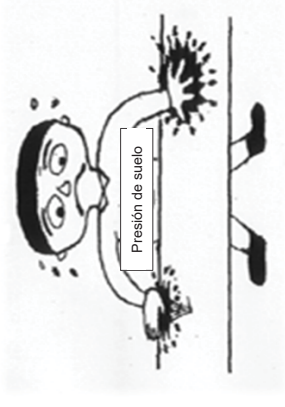
- Cuando cambia la presión, también cambia el sonido de fugas. Entre más baja la presión de agua, más baja la intensidad del sonido de fugas, mientras entre más alta la presión, más alta la intensidad. No obstante, cuando la presión llega a cierto nivel, entra en el estado de saturación y la intensidad no aumenta más.



**Figura 3.22** Relación entre la presión de agua y el sonido de fuga

- El sonido de fugas cambia según la situación de su alrededor.

El sonido de fugas cambia porque el volumen de fugas varía dependiendo de la profundidad de la tubería enterrada y la presión de suelo de su alrededor. Asimismo, cerca de la parte de la grieta en la tubería, el sonido se propaga en forma de ondas esféricas y lejos de la grieta, en forma de ondas planas.



**Figura 3.23** El sonido de fugas cambia según la situación de su alrededor

#### Puntos importantes

Los experimentos han esclarecido las siguientes características del sonido de fugas cuando se propaga en el suelo o por la tubería:

- En el suelo general, entre más alta la frecuencia, más notable la atenuación.
- La tasa de atenuación aumenta drásticamente en las frecuencias de 800Hz o superior donde fácilmente se atenúa el sonido de fugas.
- Referente a la profundidad de enterramiento, se atenúa inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.
- La tasa de atenuación de un tubo de PVC es más alta que la del tubo de hierro fundido dúctil, y esta tendencia es notable en el rango de alta frecuencia.
- Entre más grande el diámetro del tubo, tiende a ser más grande la tasa de atenuación también.

### Altibajos del tono del sonido de fugas y condiciones varias

**Tabla 3.1 Relación entre los altibajos del tono del sonido de fugas y las condiciones varias**

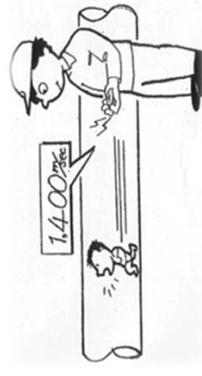
	Tono alto	Tono medio	Tono bajo
Rango de frecuencia	1.0kHz o superior	Menos de 0.5-1.0kHz	0.5kHz o inferior
Tamaño del orificio de la fuga	Pequeño	Grande	Muy grande
Forma del orificio de la fuga	Complicada	Simple	Simple
Flujo en el orificio de la fuga	Muy rápido	Lento	Muy lento
Diámetro del tubo	Pequeño	Mediano	Grande
Material del tubo	Tubo de acero	Tubo de hierro fundido dúctil, tubo de asbesto y tubo de plástico	
Distancia	Cerca	Lejos	Muy lejos
Presión	Alta	Baja	Muy baja

### 3.3 Análisis del sonido de fugas

#### 3.3.1 Velocidad de propagación del sonido de fugas

El sonido de fugas tiene forma de ondas irregulares y se propaga por la tubería como ondas acústicas. Generalmente, se propaga en el agua de la tubería a una velocidad de unos 1,400m/s y en el suelo, en caso de tierra arenosa, a una velocidad de 250-700m/s.

La velocidad de propagación varía según el tipo y el diámetro del tubo, aparte de lo mencionado anteriormente.



**Figura 3.24 Velocidad de propagación del sonido**

#### 3.3.2 Diferencia de velocidad de propagación según el tipo de tubería

La velocidad de propagación de un sonido en diferentes medios materiales es la siguiente.

- La velocidad del sonido en un gas varía según el módulo de compresibilidad y la densidad.
- El líquido transmite el sonido más rápido que el gas. La velocidad del sonido en el agua es de 1,450 m/s.
- La velocidad del sonido en un sólido es mucho más alta. Por ejemplo, la velocidad del sonido en el hierro es de 6,000 m/s aproximadamente.

**Tabla 3.2 Diferencia de velocidad de propagación del sonido de fugas**

Tipo de tubo	Diámetro (mm)	Velocidad de propagación (m/s)
Hierro Fundido Dúctil (Junta Rápida)	100	1,320
Hierro Fundido Dúctil (Junta Mecánica)	100	1,330
Acero inoxidable	20	1,300
Asbesto Cemento	100	1,110
PVC	13	640

### 3.3.3 Diferencia de velocidad de propagación según el tipo y el diámetro del tubo

#### Fórmula de Allievi

El grosor del tubo de hierro fundido dúctil es menor que el diámetro de la tubería de distribución. En esta tubería, se utiliza la Fórmula de Allievi utilizada para calcular el Golpe de ariete.

$$V = \sqrt{\frac{K \times g / \gamma}{1 + (K/E) \times (D/t)}}$$



V: Velocidad de propagación del sonido de fugas en la tubería (m/s)

K: Módulo elástico volumétrico del agua =  $2.07 \times 10^8$  (kg/m<sup>2</sup>)

g: Aceleración por gravedad = 9.8 m/s<sup>2</sup>

D: Diámetro interior del tubo (m)

T: Grosor del tubo (m)

γ: Peso específico del agua = 1,000 kg/m<sup>3</sup>

E: Módulo elástico vertical del tubo (kg/m<sup>2</sup>)

<Tubo de hierro fundido dúctil> E =  $1.6 \times 10^{10}$  kg/m<sup>2</sup>

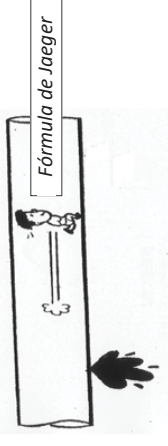
<Tubo de hierro fundido> E =  $1.0 \times 10^{10}$  kg/m<sup>2</sup>

Figura 3.25 Fórmula de Allievi

#### Fórmula de Jaeger

El tubo de acero y el tubo de plástico de la tubería de acometida de diámetro pequeño tienen mayor grosor que el diámetro de la tubería de distribución. En esta tubería, se utiliza la Fórmula de Jaeger.

$$V = \sqrt{\frac{K \times g / \gamma}{1 + 2K \cdot (r_1^2 + r_2^2) / E (r_1^2 - r_2^2)}}$$



V: Velocidad de propagación del sonido de fugas en la tubería (m/s)

K: Módulo elástico volumétrico del agua =  $2.07 \times 10^8$  (kg/m<sup>2</sup>)

g: Aceleración por gravedad = 9.8 m/s<sup>2</sup>

r<sub>1</sub>: Radio interior del tubo (m)

r<sub>2</sub>: Radio exterior del tubo (m)

T: Grosor del tubo (m)

γ: Peso específico del agua = 1,000 kg/m<sup>3</sup>

E: Módulo elástico vertical del tubo (kg/m<sup>2</sup>)

<Tubo de acero> E =  $2.1 \times 10^{10}$  kg/m<sup>2</sup>

<Tubo de PVC> E =  $0.03 \times 10^{10}$  kg/m<sup>2</sup>

Figura 3.26 Fórmula de Jaeger

La velocidad de propagación también se denomina como velocidad del sonido.

La velocidad de propagación de un sonido es determinada por el objeto y la temperatura, y no existe una relación entre la velocidad de propagación y la frecuencia.

La velocidad V de la onda sónica que se propaga en el aire se expresa como la siguiente.

$$V = 331 + 0.6t \text{ (m/s)} \quad t = \text{temperatura (} ^\circ\text{C)}$$

Es decir, cuando la temperatura sube 1 °C, la velocidad aumenta sólo 0.6m/s, y cuando la temperatura es 15 °C, se propaga a una velocidad de 340m por segundo.

La frecuencia es el número de vibraciones en un segundo, y cuando se forma una montaña en un

segundo, se expresa como 1Hz.

La longitud de onda representa la distancia neta desde una montaña (valle) hasta la próxima montaña (valle), y el intervalo (segundo) es de  $1/f$  frecuencia.

Aquí, cuando la frecuencia es 1Hz, la longitud de onda es 340m, y cuando la frecuencia es 100Hz, la longitud de onda es 3.4m.

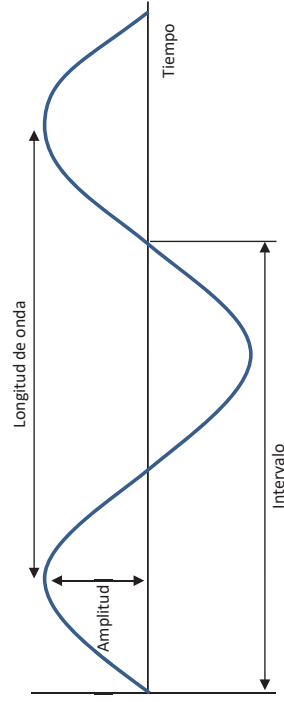


Figura 3.27 Relación entre la frecuencia y la longitud de onda

### 3.3.4 Transmisión del sonido en las tuberías complejas

La velocidad de propagación cambia en los puntos de conexión de diferentes tubos con tipos y diámetros distintos. Esto se debe al cambio de módulo elástico por el cambio de tipo y diámetro del tubo.

Cuando se aplica la tensión mecánica sobre los materiales elásticos uniformes, se produce proporcionalmente la tensión. La constante de proporcionalidad de esta fórmula se denomina como módulo elástico, y el valor del módulo elástico de un tubo no metálico es más grande que el de un tubo metálico.

#### Módulo elástico

Cuando se aplica la tensión mecánica sobre los materiales elásticos uniformes, se produce proporcionalmente la tensión. La tasa de cambio de tensión según la tensión mecánica se denomina como módulo elástico y corresponde a la inclinación de la línea recta en el "gráfico lineal de tensión mecánica-tensión".

En caso de un tubo no metálico, en comparación con un tubo metálico, la velocidad de transmisión es lenta y la distancia es más corta. Esto se debe a que el módulo elástico del tubo no metálico muestra un mayor valor que el del tubo metálico.

Tabla 3.3 Tendencia de propagación del sonido de fugas

Diámetro Material	Factor que alarga la distancia de propagación	Factor que acorta la distancia de propagación
Pequeño	Grande	
Tubo de hierro fundido dúctil, tubo de acero, tubo de asbesto cemento y tubo de acero inoxidable	Tubo de polietileno y tubo de PVC	
Años transcurridos	Nuevo (sin corrosión y sarro)	Viejo (con corrosión y sarro)
Acoplamiento	Soldadura	Acoplamiento que utiliza el sello de hule
Sonido de fugas	Tono bajo (menos de 1kHz aproximadamente)	Tono alto (más de 1kHz aproximadamente)

### 3.3.5 Características de la frecuencia del sonido de fugas y tendencia de atenuación

- Los sarros adheridos en el interior de la tubería afectan la velocidad de propagación del sonido. Entre más sarros en la tubería, más lenta la velocidad de propagación.
- El sonido se escucha de manera diferente dependiendo del lugar y la distancia de escucha. En el lugar de la fuga, se generan sonidos de todas las frecuencias desde tono alto (frecuencia alta), medio, hasta bajo (frecuencia baja).
- El sonido de baja frecuencia difícilmente se atenúa, por lo tanto, llega a más lejos. Por esta razón, en los lugares alejados de la fuga, se atenúa el tono alto y únicamente se transmite el tono bajo.
- Aunque varía dependiendo de la situación, cuando se escucha el tono bajo, usualmente se determina que el lugar de la fuga está más lejos. Este tipo de sonido de fugas se entiende con una imagen denominada como "Sonido de eco".

#### Información de referencia

Las características de la frecuencia del sonido de fugas son inversamente proporcionales a la distancia. La tasa de atenuación de un tubo de PVC es más alta que la de un tubo de hierro fundido dúctil y esta tendencia es notable en el rango de frecuencia alta. En caso del tubo de hierro fundido dúctil y tubo de acero inoxidable, el espectro de frecuencia a 5-10m desde el lugar de la fuga muestra una distribución amplia, sin embargo, la mayoría de los componentes se concentran en el rango de 5kHz o inferior, ya que en el rango de frecuencia alta la atenuación es mucho mayor.

En caso del tubo de plomo y tubo de vinilo, en comparación con el hierro fundido dúctil y tubo de acero inoxidable, la atenuación es mucho mayor en el rango de frecuencia alta. Particularmente, en caso del tubo de vinilo, casi no hay componente de 1-2kHz o superior.

### 3.4 Principio del correlacionador de ruido de fugas y método de cálculo

Cuando se generan fugas en las tuberías con presión como la de agua, desde ese lugar se producen sonidos irregulares y continuos de vibraciones. Se instalan dos sensores (A y B) en dos puntos de medición en la tubería donde está propagando el sonido de fugas y dentro del correlacionador se mide las diferencias de tiempo de llegada del sonido generado desde el punto de fuga hasta sus respectivos sensores computando la correlación de la forma de ondas del sonido de fugas para calcular la distancia hasta el punto de fuga.

Las condiciones necesarias para la medición son las siguientes.

- Se propaga el sonido de fugas a dos puntos de medición.
- Se conoce el material del tubo.
- Se conoce el diámetro del tubo.
- Se conoce la distancia entre dos puntos de medición.

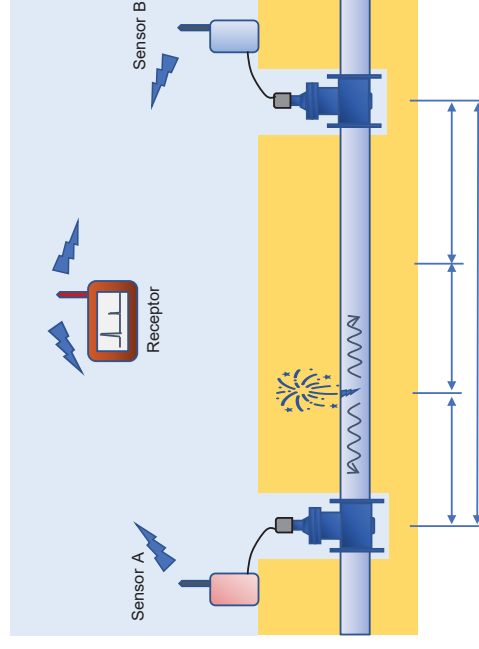


Figura 3.28 Principio del correlacionador de ruido de fugas

L: Distancia entre el punto A y el punto B (m)

$\ell$ : Distancia entre el punto de fuga y el punto A (m)

V: Velocidad de propagación del sonido de vibraciones (m/s)

Cuando se instalan dos sensores en la tubería como se muestra en la Figura anterior, el sonido de fugas generado en el punto de fuga se propaga hacia ambas direcciones de A y B a una velocidad de propagación V.

Cuando el sonido desplazado desde el punto de fuga hacia la dirección A llegó al sensor A, el mismo sonido desplazado hacia la dirección contraria ha llegado hasta el punto C, de la misma distancia de hasta el punto A. Por lo tanto, el tiempo de detección del sensor B para detectar la misma onda del sensor A se retrasa por el tiempo necesario para propagar en la distancia N.

Se calcula este tiempo de retraso ( $T_r$ ) a partir de la función de correlación entre el punto A y el punto B y con la siguiente fórmula se obtiene el punto de fuga.

$$N = T_r \times V$$

$$\ell = (L - N) / 2$$

$$\rightarrow \ell = (L - T_r \cdot V) / 2$$

La V es determinada teóricamente según el tipo y el diámetro del tubo y la L puede medirse con una cinta métrica.

Por consiguiente, si se calcula las diferencias de tiempo de llegada del sonido de vibraciones  $T_r$  en la base del correlacionador, se puede obtener la distancia  $\ell$  hasta el punto de fuga.

### Teoría de la computación de diferencia de tiempo

Se analiza con el siguiente proceso.

Si hay una fuga de agua entre A y B, se detecta la misma forma de onda.

Si la fuente sonora de la fuga está cerca de A y lejos de B, se producen diferencias en la forma de onda de A y B, y en el punto B, se detecta la forma de onda retrasada por las diferencias de tiempo.

El circuito de la base del correlacionador realiza un procesamiento para retrasar intencionalmente la forma de onda A y muestra el pico de coeficiente de correlación en la diferencia de tiempo cuando es más alta la correlación con la forma de onda B.

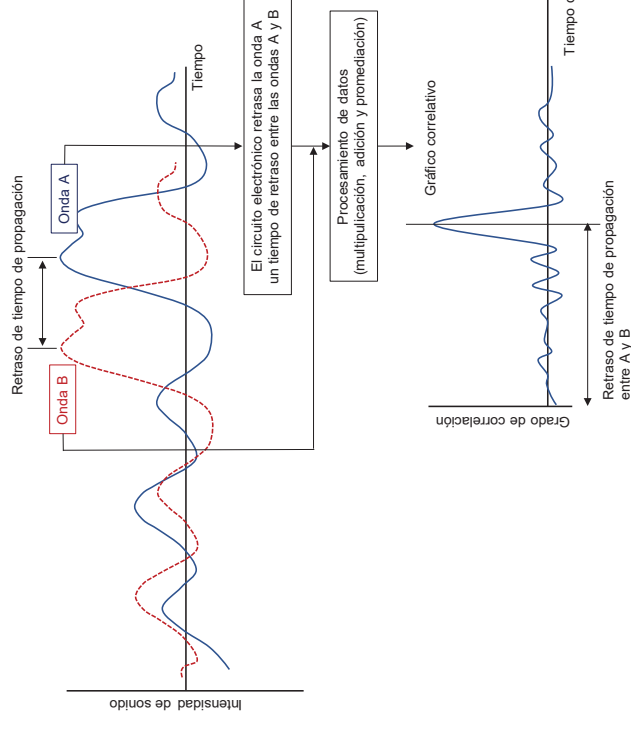


Figura 3.29 Proceso de cálculo de diferencias de tiempo de llegada del sonido de vibraciones

## Ejemplo de cálculo 1

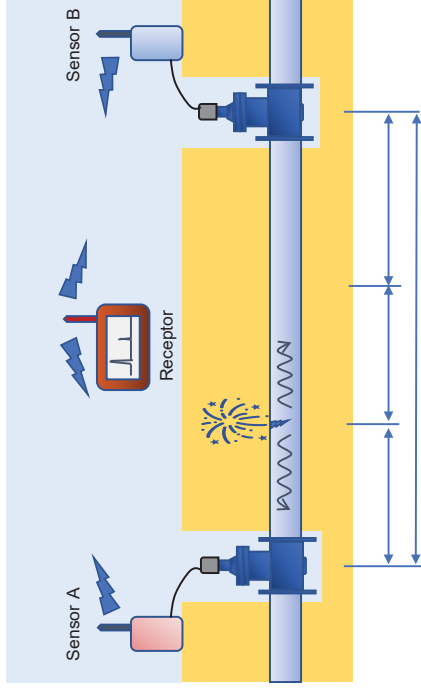


Figura 3.30 Ejemplo de cálculo 1

La velocidad de propagación del tubo de hierro fundido dúctil de diámetro 100mm es de 1,320m/s.

Supongamos que en el caso de la Figura anterior, se calculó la diferencia de tiempo de propagación Td de un milisegundo (1/1000 segundo) en el lado A.

$$\ell = (L - T_d \cdot V) / 2 = (7.2 - 1,320 \times 0,001) / 2 = 5,88 \text{ m}$$

Por lo tanto, el punto de fuga está ubicado a 5.88m del punto A.

## Ejemplo de cálculo 2

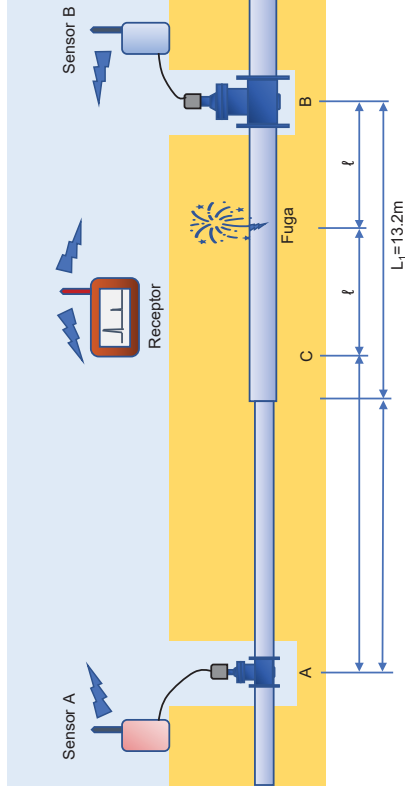


Figura 3.31 Ejemplo de cálculo 2

La velocidad de propagación del tubo de PVC de diámetro 40mm es de 495m/s.

La velocidad de propagación del tubo de PVC de diámetro 13mm es de 611m/s.

Cuando se difieren los diámetros de los tubos en el entremedio como se muestra en la Figura anterior, se calcula el tramo de diámetro 13mm reemplazando por la distancia hipotética de diámetro 40mm.

Según la Figura anterior, la distancia del tramo de diámetro 13mm es de 11.7m. Si el diámetro fuera 40mm, esto equivale a la distancia  $11.7 \times (495/611) = 9.5\text{m}$ . Por lo tanto, utilizando la velocidad de propagación del diámetro 40mm, se calcula la distancia entre los puntos A y B de  $L = 13.2 + 9.5 = 22.7\text{m}$ .

Supongamos que en el caso de la Figura anterior, se calculó la diferencia de tiempo de propagación Td de 27 milisegundos (27/1000 segundo) en el lado B.

$$\ell = (L - T_d \cdot V) / 2 = (22.7 - 495 \times 0,027) / 2 = 4,7 \text{ m}$$

Por lo tanto, el punto de fuga está ubicado a 4.7m del punto B.

### 3.5 Utilización de la detección de fugas por correlación multipuntos

El sistema de correlación multipuntos es un correlacionador localizador de fugas no inalámbrico. Tiene un sistema capaz de correlacionar en un rango de frecuencia de 1Hz a 2,750Hz, además, se puede indicar cualquier rango de frecuencia que desee para realizar la prueba de correlación.

#### Análisis de frecuencia

El Soundsens i de HWM permite realizar el análisis en cualquier rango de frecuencia. Muchas veces es efectivo para el análisis de frecuencia baja, particularmente para tubos plásticos como el PVC que generan sonidos de fugas de frecuencia relativamente baja.

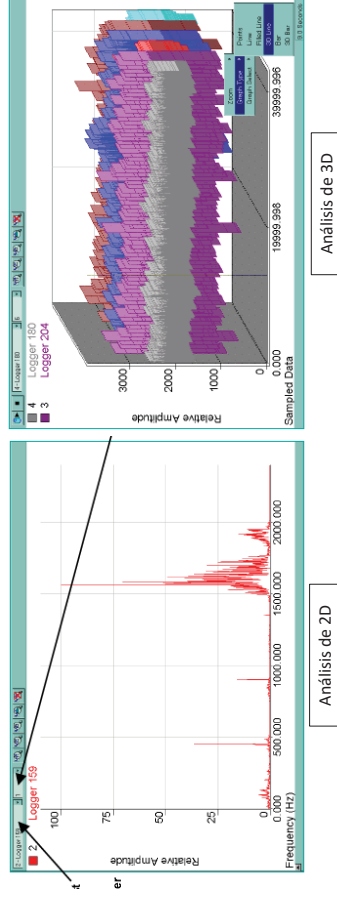


Figura 3.32 Pantalla de análisis de correlación multipuntos

A continuación, se muestra un ejemplo de análisis de correlación de un sonido de fuga en el rango 0-2000Hz y 0-500hz.

Gráfico de correlación analizado en el rango 0-2000Hz. Se calcula la tasa de correlación de un 87.9%. El valor indicado es de 79.63m.

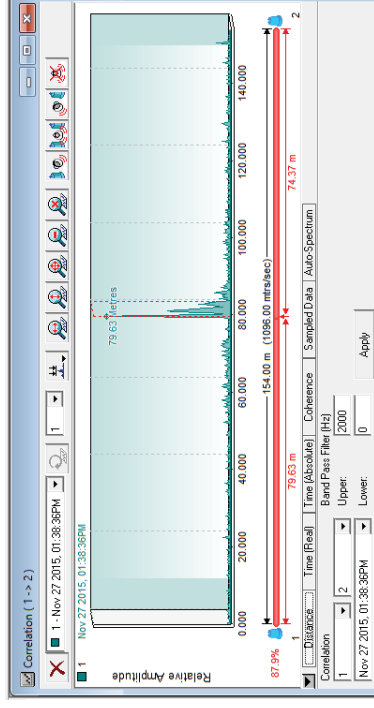


Figura 3.33 Pantalla de análisis del rango de frecuencia amplia

Gráfico de correlación analizado en el rango 0-500Hz. Se calcula la tasa de correlación de un 90.6%. Aunque cambie el rango de frecuencia, si se propagan claramente los componentes del sonido de fugas, el valor indicado es el mismo 79.63m.

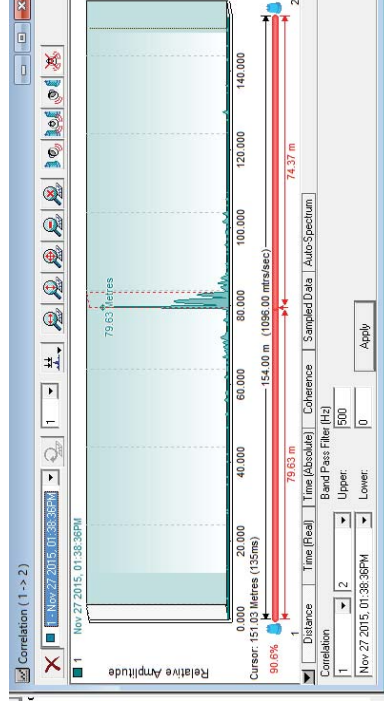


Figura 3.34 Pantalla de análisis del rango de frecuencia estrecha



### Detección de tuberías de conexiones ilegales

Cuando existe sospecha de robo de agua en la tubería ⑤, se instalan sensores de correlación multipuntos en los puntos ① y ② para verificar si se detecta la forma de onda similar a la de fugas.

Si se detecta un empalme que no sea la tubería de derivación para suministro de agua en cualquier punto de la línea ⑤, existe alta probabilidad de que es un robo de agua desde la tubería de distribución.

Aunque es imposible monitorear permanentemente, se permite registrar hasta un máximo de 9 veces, por lo que si se detecta una forma de onda anormal, aunque sea una vez, se puede afirmar que el estudio fue exitoso.

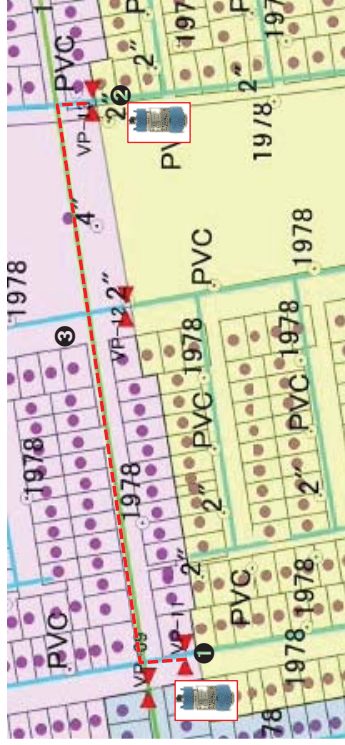


Figura 3.35 Detección de conexiones ilegales en la tubería

Lo siguiente son datos de análisis de correlación multipuntos del uso del agua en una hipotética tubería de robo de agua. El análisis se basa en 3 registros de datos de correlación.

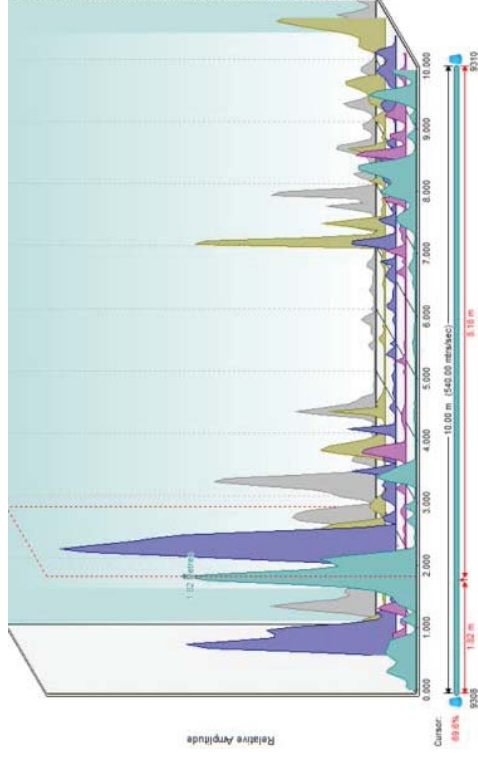


Figura 3.36 Resultados del análisis en un tramo de consumo 15L/min, longitud 10m

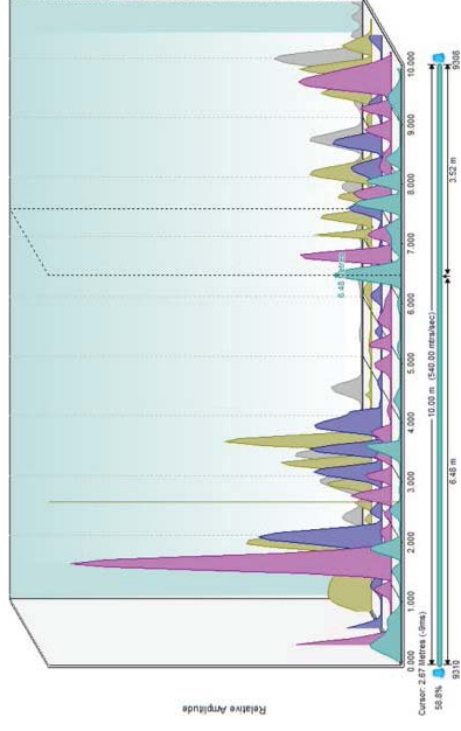


Figura 3.37 Resultados del análisis en un tramo de consumo 10L/min, longitud 10m

### Comprobación de la sectorización

La aplicación del correlacionador de ruido de fugas multipuntos permite comprobar el estado de aislamiento hidráulico de las redes de distribución.

Se instalan sensores de correlación multipuntos en los puntos ①, ②, ③ y ④. Si se detecta la forma de onda de correlación, esto indica que el sector de distribución de agua no está hidráulicamente aislado o las válvulas no están bien cerradas.



Figura 3.38 Comprobación de la sectorización de las redes de distribución

### 3.6 Reparación de fugas

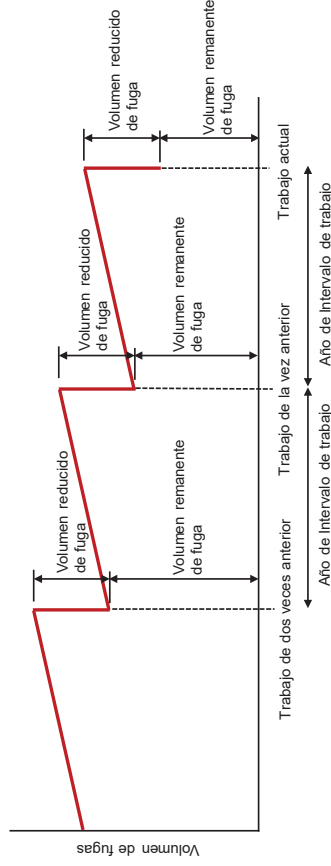
#### 3.6.1 Concepto de reparación y reparación de fugas

Las tuberías de agua se deterioran con el paso del tiempo por diferentes factores que influyen como la obsolescencia, corrosión, cargas de tránsito, etc. El deterioro de las tuberías es una causa de generación de fugas. Asimismo, las tuberías deterioradas, aunque sean reparadas, pronto vuelven a generar otras fugas, a menos que se renueven por completo. Este fenómeno se denomina como "Reparación de fugas".

Para reducir el volumen remanente de fugas, sólo existen dos métodos.

- Seguir con el trabajo de prevención de fugas a un ritmo superior al volumen de reparación.
  - Aumentar el volumen de trabajo de prevención de fugas (invertir en los recursos humanos)
  - Mejorar las técnicas de detección de fugas (acumulación de entrenamiento y experiencia)
  - Adoptar las tecnologías más eficientes para la detección de fugas y la reparación (nuevas tecnologías)
- Renovar las tuberías y erradicar por completo la reparación.
  - Adoptar un tubo que difícilmente se generan fugas (cambio de material)
  - Reducir la longitud de la tubería y definir la ruta de tuberías de distribución para que sea más eficiente (mayor eficiencia)
  - Adoptar las tecnologías adecuadas para la instalación de tuberías (nuevas tecnologías)

Con respecto a la reparación del volumen de fugas, se supone que la aparición sigue los patrones del siguiente esquema de la Figura.



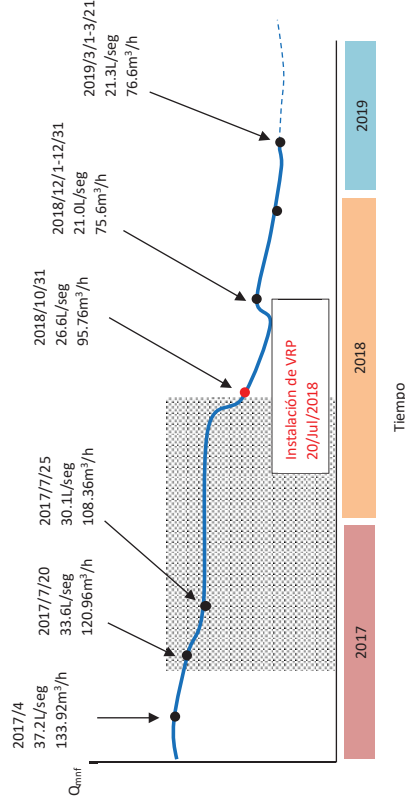
**Figura 3.39 Imagen ilustrativa de reparación de fugas**

En la práctica, son limitados los costos y los recursos humanos disponibles para la prevención de fugas, por lo que es importante establecer un volumen de fugas permitido y los criterios de renovación de tuberías tomando en cuenta el volumen prevenido, el volumen remanente, así como el costo invertido en las actividades de prevención.

### 3.6.2 Acerca de la curva de reparación de fugas

La siguiente Figura grafica las variaciones del caudal mínimo nocturno en un microsector de la ciudad de Managua (AZA No.3) en las actividades para la reducción de ANF.

En el cálculo de costo-efectividad de las actividades para la reducción de ANF en AZA No.3, se estableció preliminarmente 41 meses de período de reparación del volumen prevenido. Inicialmente, se calculó preliminarmente 41 meses desde la finalización de las actividades en abril del 2018 hasta septiembre del 2021, no obstante, posteriormente en julio del 2018 se instaló la válvula reguladora de presión para regular la presión de las zonas de alta presión, por esta razón, puede tardar más de 41 meses inicialmente previstos hasta que el nivel de fugas regrese al nivel inicial.



**Figura 3.40 Monitoreo de reparación de fugas**

### 3.6.3 Relación entre las medidas de prevención de fugas por etapas y la reaparición de fugas

Desde el punto de vista técnico de la prevención de fugas, frecuentemente se utilizan los indicadores de medidas de prevención de fugas por etapas.

En comparación con otros países desarrollados, las redes de tuberías de ENACAL tienen una tasa de ANF comercial bastante alta, por lo que no es recomendable utilizar el mismo porcentaje de 6 etapas como indicadores de insumo de las actividades. Es sumamente importante elaborar el marco de futuras medidas de reducción de ANF física reconociendo suficientemente el contenido y la composición de ANF.

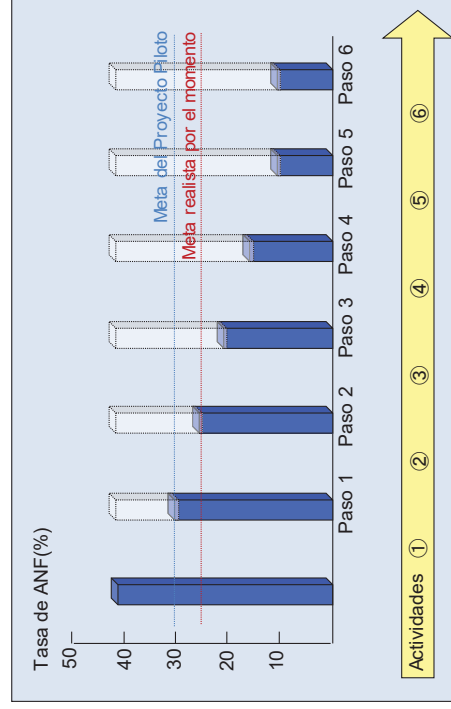


Figura 3.41 Reducción de ANF por etapas

Tabla 3.4 Medidas de prevención de fugas por etapas

Pasos	ANF	Objetivo principal de medidas para la prevención de fugas	Métodos
1	35% o mayor	Reducción de fugas superficiales de agua y pérdidas aparentes	- Recorrido de observación - Medidas contra el robo de agua - Reemplazo de micromedidores de mal funcionamiento - Reducción de medición errónea
2	De 25 a 35 %	Reducción de fugas subterráneas de agua	Preparación de planos correctos de tuberías - Sectorización de redes de tuberías - Entrenamiento y capacitación - Mejora de técnica de detección de fugas de agua
3	De 25 a 30 % (continuación del paso 2)	Prevención de la reaparición de fugas de agua	- Aumento de insumo del trabajo de prevención de pérdida deterioradas - Inicio de renovación de tuberías
4	De 15 a 25 %	Continuación de actividades para la prevención de fugas de agua	- Revisión y mejora de trabajos de prevención de pérdidas - Aceleración de reparación de tuberías deterioradas - Introducción de equipos de alto rendimiento
5	De 5 a 15 %	Paso final de actividades para la prevención de fugas de agua hasta cierto nivel	- Reemplazo perfecto de tuberías obsoletos - Racionalización de organización
6	5% o menor	Freno a la subida repetida de la tasa de agua no facturada	- Continuación de trabajos al mínimo para la reducción de ANF

**Capítulo 4**  
**Medición de caudal**



## Capítulo 4 Medición de caudal

### 4.1 Precisión y normas para medidores

#### 4.1.1 Definición de caudal

##### ¿Qué es un caudal?

Se refiere al volumen o la masa de fluido que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

Existen dos métodos de medición de caudal: "Caudal volumétrico" para medir el volumen y "Caudal másico" para medir la masa. El caudal volumétrico utiliza como indicador los cambios en el volumen por unidad y el Gasto másico utiliza los cambios en la masa por unidad. La siguiente figura muestra la diferencia de ambos conceptos.

Generalmente se utiliza el "caudal volumétrico", sin embargo, cuando se mide el vapor o los gases, algunas veces se expresa en "caudal másico" porque el volumen cambia según la temperatura y la presión.

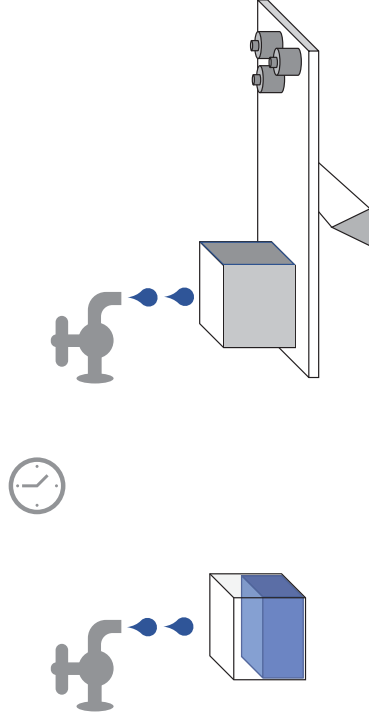


Figura 4.1 Diferencia entre el caudal volumétrico (izquierda) y el caudal másico (derecha)

### Caudal volumétrico

El caudal volumétrico es un método para obtener el caudal dividiendo el volumen que pasa por un área por unidad de tiempo. Generalmente, cuando se habla del caudal, se refiere al caudal volumétrico y la unidad se expresa como  $Q$  ( $m^3/s$ ).

$$Q = A \times V$$

A: Sección transversal donde pasa el flujo ( $m^2$ )

V: Velocidad promedio del flujo perpendicular a la sección ( $m/s$ )

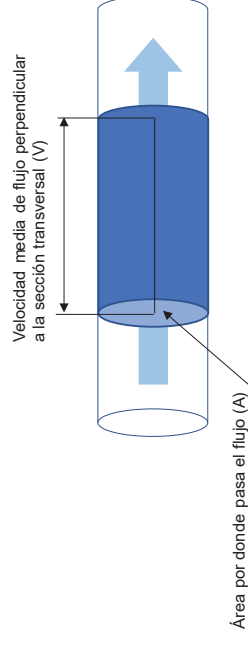


Figura 4.2 Flujo y caudal

### Unidad de volumen

En el Sistema Internacional de Unidades (SI), se utiliza  $m^3$  (metros cúbicos). Cabe señalar que  $cm^3$  significa centímetros cúbicos (significa cc) y no es la unidad complementaria de  $m^3$ . Se puede expresar 1000cc como 1L (litro), y  $1m^3$  corresponde a 1,000L.

Tabla 4.1 Tabla de conversión volumétrica

$m^3$	L	cc	Galón (US)
1	1,000	1,000,000	264.17205
0.001	1	1,000	0.26417205
0.000001	0.001	1	0.00026417
0.003785411784	3.785411784	3785.411784	1

### Expresión de caudal

Existen dos formas de expresión de caudal: “Caudal instantáneo” y “Caudal acumulado”.

[Caudal instantáneo]

El caudal instantáneo indica el volumen que fluye por un tiempo determinado. Por ejemplo, el caudal instantáneo cuando fluye 10L en un minuto es 10 L/minuto, y el caudal instantáneo cuando fluye 1L en un segundo es 1L/segundo.

[Caudal acumulado]

El caudal acumulado indica el valor acumulado del volumen desde el comienzo de la medición. Por ejemplo, cuando se almacena el agua en el tanque durante una hora en el caudal instantáneo de 100 L/min, el caudal acumulado es 100L/min×60min = 6000L = 6m<sup>3</sup>.

Velocidad de vehículo 80 km/hora = Valor instantáneo



Cuando el vehículo corrió durante 1 hora

Distancia es 80km = Valor acumulado



Figura 4.3 Caudal instantáneo y Caudal acumulado

A continuación, se muestran las unidades de caudal utilizadas en el campo de agua y saneamiento y la Tabla de conversión.

Tabla 4.2 Unidades de caudal y denominación

Unidad	Denominación
m <sup>3</sup> /h	metro cúbico por hora
m <sup>3</sup> /min	metro cúbico por minuto
m <sup>3</sup> /seg	metro cúbico por segundo
L/h	litros por hora
L/min	litros por minuto
L/seg	litros por segundo
mL/h	mililitros por hora
mL/min	mililitros por minuto
mL/seg	mililitros por segundo

Tabla 4.3 Tabla de conversión de caudal

	L/seg	L/min	L/h	m <sup>3</sup> /h
L/seg	1	60	3,600	3.6
L/min	0.016667	1	60	0.06
L/h	0.000278	0.016667	1	0.001
m <sup>3</sup> /h	0.2778	16.668	1,000	1

#### 4.1.2 Normas internacionales de los calibres

En el campo de calibres, con la globalización y la desaparición de las fronteras de las actividades económicas, los organismos internacionales como el OIML (Organización Internacional de Metrología Legal) y el ISO (Organización Internacional de Normalización) unifican los estándares técnicos de los calibres a nivel internacional.

##### Organización Internacional de Metrología Legal (OIML)

La unificación de las unidades de medición a nivel internacional por sí sola no puede eliminar las barreras técnicas en el comercio internacional de los calibres. Es necesario que cada país armonice los estándares técnicos de los calibres y los trámites de evaluación de conformidad a los estándares internacionales.

La Convención para constituir una Organización Internacional de Metrología Legal (OIML) fue suscrita en 1955 en París, Francia, con la participación de 22 países con el objetivo de facilitar el comercio internacional de los calibres dando consistencia a las reglas de metrología legal de los países miembros.

La Sede y Secretaría de la OIML (BIML) se encuentra en París (<http://www.oiml.org/>).

Las principales actividades de la OIML es formular y emitir las Recomendaciones Internacionales (OIML R) y los Documentos Internacionales (OIML D), y emitir Certificados OIML.

Las OIML R son reglas modelos para calibres. La OIML elabora las OIML R para calibres utilizados en los campos de transacciones comerciales; salud, seguridad, medio ambiente y otros.

Administra el sistema de Certificados OIML y brinda un mecanismo de recepción y utilización mutua de Certificados OIML emitidos en cualquier país miembro de la OIML en base al sistema voluntario introducido en 1991.

Actualmente, dicho sistema se aplica para 59 tipos de OIML R para calibres. Para las empresas fabricantes, importadoras y exportadoras, este sistema es útil para reducir los trámites administrativos para la exportación e importación de los calibres, así como el costo de examen.

Con respecto a los medidores de agua, existen las normas OIML 49-1, 49-2 y 49-3.



OIML 49-1 Parte 1: Requerimientos metroológicos y técnicos  
OIML 49-2 Parte 2: Métodos de pruebas  
OIML 49-3 Parte 3: Formatos de informe

##### Organización Internacional de Normalización (ISO)

La ISO es una organización privada con sede en Suiza.

Esta organización establece las "Normas ISO" y tiene 163 países miembros. Emite más de 21,600 normas internacionales. Cada miembro es el principal organismo de normalización de su país. Nicaragua es Miembro correspondiente y su representación es la siguiente.

Los Miembros correspondientes son países que no tienen su propia organización de normalización. Los Miembros correspondientes pueden obtener la información sobre el trabajo de la ISO, sin embargo, no participan en el trabajo de normalización.

Dirección de Normalización y Metrología

Ministerio de Fomento, Industria y Comercio

KM 6 Carretera a Masaya, Managua

Correo electrónico: [normalizacion@mifc.gob.ni](mailto:normalizacion@mifc.gob.ni)

Las Normas ISO son "normas que unifican los estándares a nivel internacional", en otras palabras, son "normas que elaboran pautas de estándares internacionales".

Con respecto a los medidores de agua, existen las normas ISO-4064-1, 4064-2 y 4064-3 y todas cumplen las OIML-49.



ISO 4064-1 Parte 1: Especificaciones  
ISO 4064-2 Parte 2: Requerimientos de instalación  
ISO 4906-3 Parte 3: Métodos de pruebas y equipos



### 4.1.3 Precisión de los medidores

#### Error relativo

El error relativo de la indicación de los medidores se refiere al valor que se obtiene sustrayendo del valor indicado por el medidor el valor real que debe indicar. Se expresa en porcentaje con la siguiente fórmula.

$$E (\%) = \frac{V_{MBP} - V_{PC}}{V_{PC}} \times 100$$

$V_{MBP}$  : Volumen indicado por el medidor

$V_{PC}$  : Volumen corregido del recipiente de patrón

A continuación, se explica sobre el error relativo de la indicación del medidor de diámetro nominal (DN) 15mm, tomando como ejemplo las normas ISO-4064 para Clase B y Clase C.

Tabla 4.4 Clases de medidores y caudales estándares para pruebas

Símbolos	Variables	Clasificación según ISO 4064	
		Clase B	Clase C
$Q_1$	Caudal mínimo	30 L/h	15 L/h
$Q_2$	Caudal de transición	120 L/h	22.5 L/h
$Q_3$	Caudal permanente	1.5 m <sup>3</sup> /h	1.5 m <sup>3</sup> /h
$Q_4$	Caudal de sobrecarga	3.0 m <sup>3</sup> /h	3.0 m <sup>3</sup> /h

Las cifras y las unidades de la Tabla anterior son cifras establecidas como caudales estándares y son indicadores del "error relativo (%)" para realizar pruebas.

#### Curva de errores y volumen intangible

A continuación, se muestra la relación entre el error instrumental (%) y el rango de caudales.

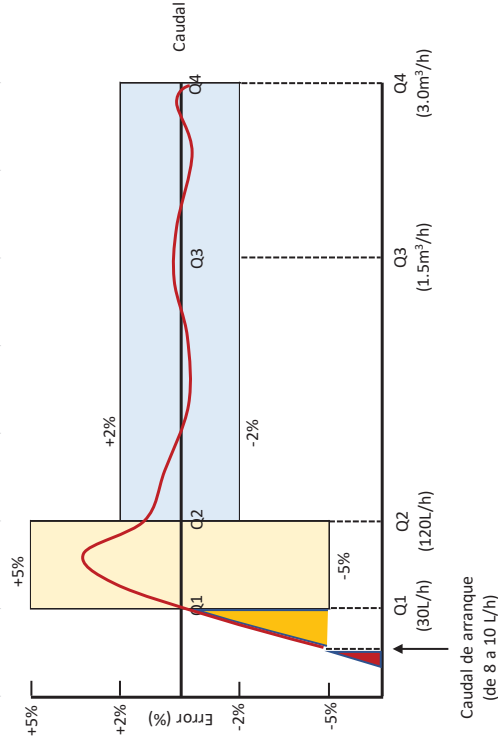


Figura 4.4 Curva de errores del medidor de Clase B de DN15mm

En caso del medidor de Clase B, cuando el rango de caudal es  $Q_1$  o mayor pero menos de  $Q_2$ , el error es un  $\pm 5.0\%$ , y cuando el rango de caudal es entre  $Q_2$  y  $Q_3$ , el error es un  $\pm 2.0\%$ , se aprueba el envío de ese medidor como producto.

Al ver esta curva de errores, se entiende que el rango de caudales de menos de  $Q_1$  (la parte anaranjada de la Figura anterior) es el rango de volumen intangible del medidor, ocasionaría un gran error.

Generalmente, si el producto es de un fabricante confiable, el medidor funciona y mide en el rango de caudales menores de 30L/h, aunque no se puede garantizar la precisión de  $\pm 5.0\%$ . Todos los medidores tienen un caudal de inicio de medición que se llama Caudal de arranque, y usualmente es entre 8 y 10L/h para un medidor de Clase B de DN15mm, aunque este valor aumenta debido al deterioro con el paso del tiempo.

Por consiguiente, el verdadero rango de volumen intangible del medidor significa el rango de caudales menores que este caudal de arranque (la parte roja de la Figura anterior).

#### Glosario para comprender el error relativo

Los siguientes términos se utilizan para pruebas de medidores.

[Tolerancia]

Se refiere al rango de errores instrumentales permitidos para determinar la aprobación o el rechazo del medidor. Existen dos tipos de tolerancia: Error máximo permisible para pruebas y Error máximo permisible en uso.

[Error Máximo Permisible para pruebas]

Son cifras de errores instrumentales permitidos como rango permitido que tiene que ver con la aprobación o el rechazo del medidor.

$Q_1 (Q_{min}) \leq Q \leq Q_2 (Q_t)$  :  $\pm 5\%$

$Q_2 (Q_{rango}) \leq Q \leq Q_3 (Q_{max})$  :  $\pm 2\%$  (agua a una temperatura menor a  $30^\circ\text{C}$ )

Q1 : Caudal a partir del cual el medidor empieza a proporcionar indicaciones de volumen.

Q2 : Caudal que divide en 2 zonas de medición el comportamiento del medidor, cada una de estas zonas se caracteriza por un error máximo permisible distinto.

Q3 : Caudal en el cual el medidor opera de manera satisfactoria y permanente bajo las condiciones de uso a flujo uniforme y/o intermitente.

Q4 : Caudal en el cual el medidor opera satisfactoriamente por ciertos períodos cortos de tiempo sin deteriorarse

[Error máximo permisible en uso]

Se refiere a los errores instrumentales permitidos del medidor en uso y probado durante del período de efectividad.

En caso del medidor en uso, se permiten errores hasta dos veces superior a los del Error Máximo Permisible para pruebas.

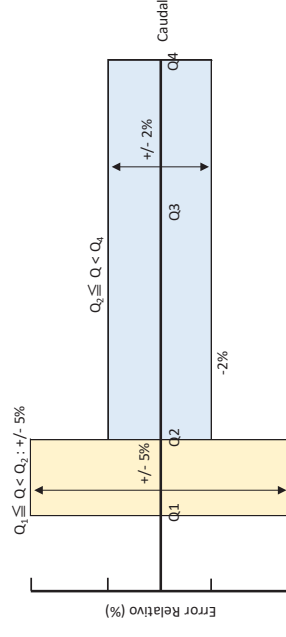


Figura 4.5 Rango de caudales y Error Máximo Permisible para pruebas

#### 4.1.4 Métodos de prueba de precisión de los medidores

Prueba de error relativo y Banco de pruebas que se utiliza

Para la prueba, se utiliza el método de comparación de valores medidos del calibre a probar y del Banco de pruebas que se colocan en línea recta haciendo fluir un volumen determinado de agua.

Existen dos métodos de prueba que se clasifican según el tipo de Banco de pruebas y la forma de lectura del caudal que circula por el calibre.

Tabla 4.5 Clasificación de métodos de prueba

Tipo de Banco de pruebas	Método conducto cerrado	Método conducto abierto
Medidor estándar de agua	✓	✓
Tanque estándar para medidores de líquido	✓	✓
• Para medidores de agua		
• Para medidores de líquido (forma cilíndrica)		
• Para medidores de líquido (forma de botella)		
Probador de tubos para medidores de líquido	-	✓
Báscula de mesa manual estándar o pesa de calibración estándar	✓	✓

(Método conducto cerrado) Método para leer el valor cuando está detenido el flujo del fluido para pruebas (Método conducto abierto) Método para leer el valor cuando está fluyendo el fluido para pruebas

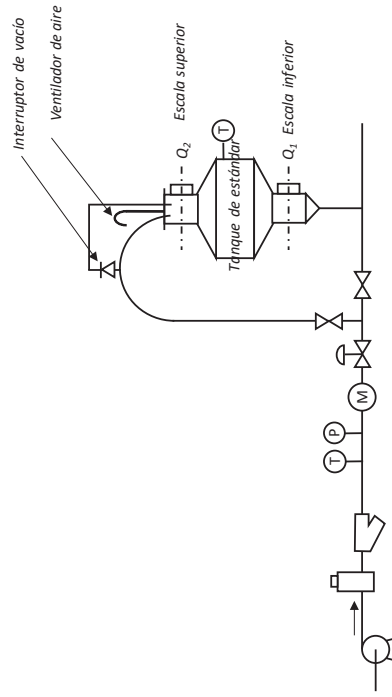


Figura 4.6 Ejemplo de distribución del Método conducto cerrado con tanque estándar

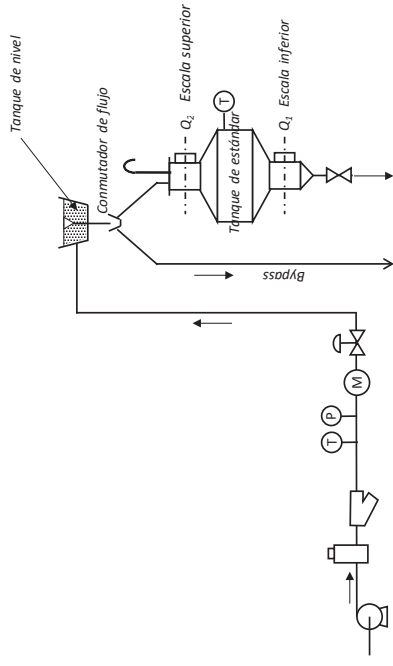
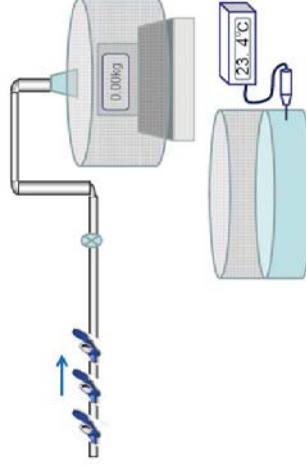


Figura 4.7 Ejemplo de distribución del Método conducto abierto con tanque estándar



Volumen verdadero = Masa del agua / Densidad del agua

Figura 4.8 Ejemplo de distribución con báscula manual

### Tipos de pruebas

Existen tres pruebas de medidores de agua clasificadas en “Prueba de determinación de errores de indicación” y “Prueba de verificación inicial” y “Prueba en uso”.

(1) Prueba de determinación de errores de indicación

Prueba las funciones específicas del medidor y establece el número de unidades de los medidores a probar. Como referencia, a continuación se muestra el “Programa de pruebas para la aprobación del patrón” de una muestra a comercializar. Se determina la aprobación o el rechazo por rubros de prueba de esta tabla. Después de la aprobación, se certifica como producto y se comercializa masivamente.

**Tabla 4.6 Rubros de prueba del medidor**

No	
1	Presión estática
2	Error de indicación
3	Temperatura de agua
4	Presión de agua
5	Flujo inverso
6	Pérdida de presión
7	Durabilidad de flujo discontinuo
8	Durabilidad de flujo continuo

[Prueba de presión estática]

La presión máxima permisible debe ser al menos 1.0MPa, y verificar que no haya fugas.

[Prueba de error de indicación]

Los puntos claves de la prueba de error de indicación son los siguientes: Mantener una presión estable; Mantener la tolerancia del caudal para pruebas entre  $\pm 2.5\%$  y  $\pm 5.0\%$ , dependiendo del método de prueba; Para la prueba de error intrínseco, realizar 2 mediciones en 7 rangos de caudales.

[Temperatura de agua]

Realizar a una temperatura menor a 30°C (20°C como condición de referencia).

[Presión de agua]

Realizar dentro del rango de 0.03MPa para la presión mínima permisible del medidor y de al menos 1.0MPa para la presión máxima permisible.

[Flujo inverso]

La prueba de error máximo permisible para pruebas en caso del flujo inverso se realiza utilizando el mismo método del flujo directo.

[Pérdida de presión]

Verificar que la pérdida de presión del medidor esté dentro del rango de caudales entre  $Q_1$  y  $Q_3$  y que no supere 0.063MPa.

[Durabilidad de flujo discontinuo]

Realizar la prueba con 100,000 interrupciones durante 15 segundos.

[Durabilidad de flujo continuo]

Para un medidor de diámetro 15mm, son 100 horas, aunque varía según el caudal máximo.

(2) Prueba de verificación inicial

Se realiza como inspección del producto para el envío del medidor y todos los medidores que salen de la fábrica son sujetos a la inspección. La prueba de presión estática en esta inspección del producto se realiza durante un minuto a una presión máxima de 1.6 veces más alta que la función indicada del medidor.

La medición del error de indicación se realiza en tres rangos de caudales como los siguientes.

**Tabla 4.7 Rangos de caudales para la medición del error de indicación**

No	Rango de caudales designado
1	Entre $Q_1$ y $Q_2$ x 1.1
2	Entre $Q_2$ y $Q_3$ x 1.1
3	Entre $0.9 \times Q_3$ y $Q_3$

**(3) Prueba en uso**

Esta prueba es para inspeccionar el rendimiento, etc. del medidor en uso en el mercado después de la fabricación.

Para la tolerancia en uso, se permite hasta dos veces mayor que el error máximo permisible para pruebas.

Cuando se realiza la prueba de pérdida de presión como un rubro de prueba, es necesario verificar que el rango de caudales quede entre  $Q_1$  y  $Q_3$  y que no supere 0.063MPa.

**Volumen de medición**

El caudal que debe fluir está establecido según el tipo de Banco de pruebas que se utiliza y el método de prueba. La siguiente Tabla muestra el caso de la prueba que utiliza un tanque estándar común.

**Tabla 4.8 Volumen de medición requerido**

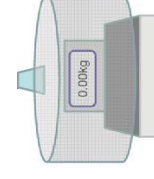
Banco de pruebas	Caudal máximo nominal ( $Q_3$ ) del medidor a probar	Volumen de medición
Tanque estándar para medidores de líquido (tanque estándar para medidores de agua)	6.3m <sup>3</sup> /h o menor	$Q_1$ , $Q_2$ : 50L o mayor $Q_3$ : 100L o mayor
	10m <sup>3</sup> /h o menor	$Q_1$ , $Q_2$ : 100L o mayor $Q_3$ : 400L o mayor
	Más de 10m <sup>3</sup> /h	$Q_1$ , $Q_2$ , $Q_3$ : Más de 100 veces del intervalo de escala para pruebas sea del medidor a probar o del tanque estándar, cualquiera que sea mayor
Tanque estándar para medidores de líquido (forma de botella)	6.3m <sup>3</sup> /h o menor	$Q_1$ , $Q_2$ : 20L o mayor $Q_3$ : 50L o mayor
	10m <sup>3</sup> /h o menor	$Q_1$ , $Q_2$ : 30L o mayor $Q_3$ : 100L o mayor
	Más de 10m <sup>3</sup> /h	$Q_1$ , $Q_2$ , $Q_3$ : Más de 50 veces del intervalo de escala para pruebas sea del medidor a probar o del tanque estándar, cualquiera que sea mayor
Báscula de mesa manual estándar	6.3m <sup>3</sup> /h o menor	$Q_1$ , $Q_2$ : 20L o mayor $Q_3$ : 50L o mayor
	10m <sup>3</sup> /h o menor	$Q_1$ , $Q_2$ : 30L o mayor $Q_3$ : 100L o mayor
	Más de 10m <sup>3</sup> /h	$Q_1$ , $Q_2$ , $Q_3$ : Más de 50 veces del intervalo de escala para pruebas sea del medidor a probar o del tanque estándar, cualquiera que sea mayor



Tanque estándar para medidores de agua



Tanque estándar en forma de botella



Báscula manual

#### 4.2 Tipos y funciones de los medidores (Micromedidor)

##### 4.2.1 Tipos de micromedidores

Existen dos tipos de medidores de agua para uso residencial, para medir la velocidad del flujo (tipo velocimétrico) y para medir el volumen (tipo volumétrico).

La mayoría de los medidores tipo velocimétrico son medidores tipo turbina y estos clasifican en Chorro único y Chorro múltiple.

En caso del Chorro único, la misma caja del medidor funciona como cámara de medición. En caso del Chorro múltiple, hay una estructura que separa la turbina en rotación de la cámara de medición. El chorro múltiple se refiere a varias toberas que lanzan chorros de agua a la turbina en esta estructura y suele utilizarse para medidores tipo turbina de flujo tangencial de mayoritariamente 20mm o mayor.

Los medidores de tipo turbina de flujo axial se denominan como tipo Woltman. La turbina es un tornillo torcido, y hay dos tipos, vertical y horizontal según la ubicación del rotor. El tipo Woltman se utiliza en medidores de consumo relativamente grande y es apto para medir amplio rango de caudales desde caudales pequeños hasta caudales grandes.

De los medidores de tipo volumétrico, el más famoso es el tipo pistón rotativo. En los países donde está arraigada la cultura británica, hay muchos de este tipo.

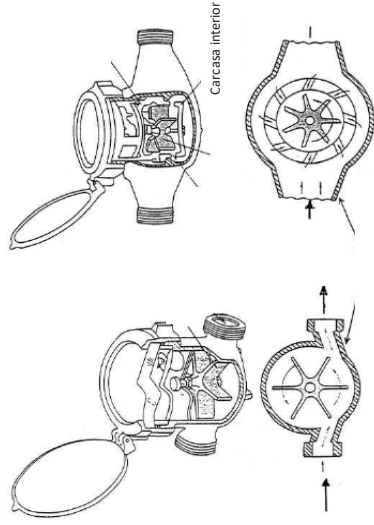


Figura 4.9 Estructura de micromedidores

#### 4.2.2 Especificaciones de los medidores comunes en Nicaragua

##### Berotz / WTA

Tipo : Chorro múltiple  
 Clase : ISO 4064 Clase B  
 R :  $Q_3/Q_1 = 2500/50 = 50$  (DN20)  
 Presión nominal: 10 bar



Tipo	DN	Clase	Q <sub>4</sub> m <sup>3</sup> /h	Q <sub>3</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>	L/h	Lectura mínima m <sup>3</sup>	Lectura máxima
LXSG-15S	15	A	3	1.5	150	60	30	0.0001	99999
		B			120				
		C			22.5				
LXSG-20S	15	A	5	2.5	250	100	0.0001	99999	
		B			200				
		C			375				

1 vuelta = 1 L      1 vuelta = 10 L      1 vuelta = 100 L      1 vuelta = 1 m<sup>3</sup>

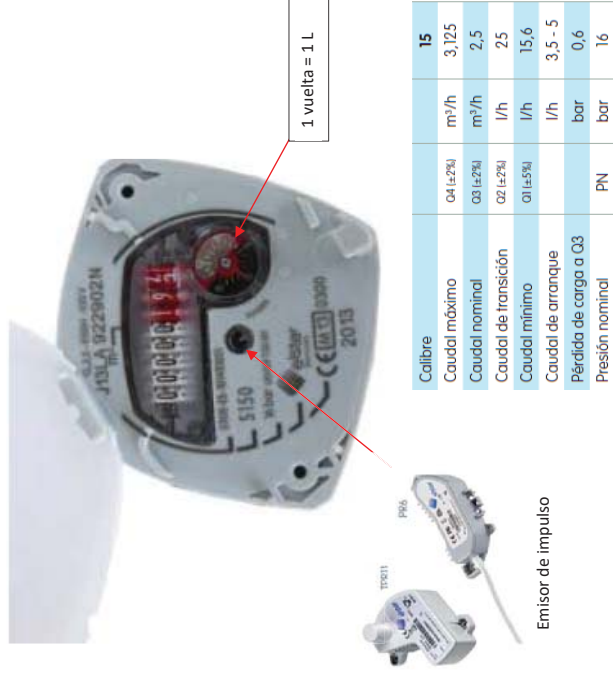
## Elster / Honeywell

Tipo : Chorro único

R :  $Q_3/Q_1 = 2500/15.625 = 160$

Presión nominal: 16 bar

Emisor de impulso : Con el uso opcional de emisor de impulsos (PR6), se puede registrar la salida de pulsos en el registrador de datos (DataLogger) para analizar el consumo.



Emisor de impulso

### 4.2.3 Selección de los medidores sobre la base del diámetro, el valor del rango de medición (R) y los datos del consumo

Con el cálculo hidráulico, se selecciona el diámetro de la tubería de suministro.

Luego, se determina  $Q_3$  requerido en el lugar del uso, después se selecciona el rango de medición ( $R=Q_3/Q_1$ ) para determinar el caudal mínimo  $Q_1$ .

Para utilizar los medidores por mucho tiempo en la condición estable, desde hace tiempo existen conceptos como el "rango de caudales de uso adecuado" y el "consumo mensual", y estos son elementos importantes en la selección de los medidores.

Por ejemplo, el uso en caudales menores al rango de uso adecuado, la tasa de medición va bajando con años de uso y causa la generación del volumen intangible. Asimismo, el uso continuo en caudales mayores al rango de uso adecuado causa averías.

Por lo tanto, es importante determinar los criterios de selección de medidores conociendo con certeza la situación real del uso incluyendo el caudal mínimo, usual y máximo del consumo proyectado. La siguiente Tabla muestra los caudales de uso adecuado de los medidores en caso de Japón.

Tabla 4.9 Tabla de caudales de uso adecuado para medidores (R=100)

$Q_3$	DN	Rango de caudales de uso adecuado (m <sup>3</sup> /h)	Caudal permisible de uso temporal (m <sup>3</sup> /h)			Consumo diario (m <sup>3</sup> /h)			Consumo mensual (m <sup>3</sup> /mes)
			Menos de 10 minutos	Menos de 1 hora	Un total de 5 horas de uso diario	Un total de 10 horas de uso diario	Un total de 24 horas al día		
2.5	13	De 0.1 a 1.0	2.5	1.5	4.5	7	12	100	
4	20	De 0.2 a 1.6	4	2.5	7	12	20	170	
6.3	25	De 0.23 a 2.5	6.3	4	11	18	30	260	

Nota: 1: El rango de caudales de uso adecuado se refiere a los caudales estándares que permiten utilizar los medidores en la condición de rendimiento estable a largo plazo.

Nota: 2: Se refiere al caudal permisible cuando se utiliza a corto plazo.

Nota: 3: Un total de 5 horas de uso diario: viviendas en general

Nota: 4: Un total de 10 horas de uso diario: empresas y fábricas

Nota: 5: Uso de 24 horas al día: hospitales

### 4.3 Tipos y funciones de los caudalímetros (Macromedidor)

Existen diversos tipos de caudalímetros para distintos usos. Se seleccionan después de determinar la forma de caudalímetro según la naturaleza del objeto a medir y el lugar de instalación y luego de revisar las especificaciones según la precisión de medición requerida y comparar los costos.

En esta sección, se mencionan los caudalímetro más importantes y más utilizados en las instalaciones y las redes de tuberías de agua y saneamiento.

En muchas partes de este Manual, se llaman micromedidores los medidores tipo turbina de diámetro menos de 25mm, y los medidores tipo Woltman de diámetro 40mm o mayor se manejan como macromedidores.

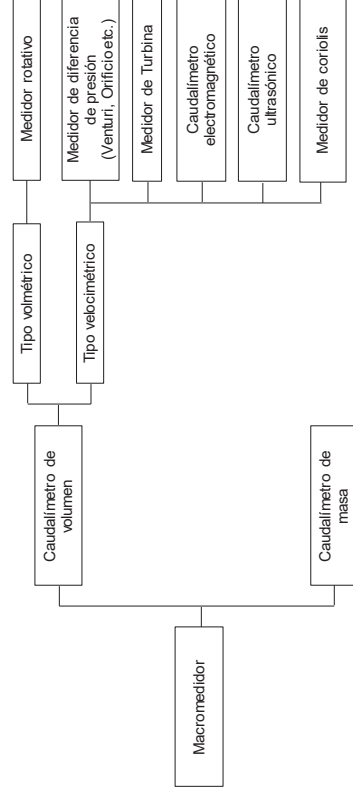


Figura 4.10 Clasificación de caudalímetros

### Medidor de diferencia de presión

Como se muestra en la siguiente Figura, cuando el flujo se reduce en medio del tubo, la presión del fluido cae. El grado de la caída tiene que ver con la densidad del fluido y la velocidad del flujo, por lo tanto, se puede calcular el caudal si se mide la diferencia de presión entre el curso superior y el curso inferior.

Este caudal es el caudal volumétrico. El caudal másico se puede obtener multiplicando el caudal volumétrico por densidad.

#### [Características]

- Se puede medir diferentes tipos de fluidos como líquido, gases y vapor.
- Difícilmente se avería por no tener partes móviles, y es barato, sobre todo la placa de orificios.
- La estructura de reducción del flujo y el rango de diámetros están regidos por las normas internacionales y no requiere calibración para el flujo actual.

#### [Defectos]

- El rango de medición es estrecho, ya que la relación entre el rango medible de caudal máximo y caudal mínimo es apenas 3:1.
- La precisión es baja, ya que es 2 - 3% de la Precisión a plena escala.
- Fácilmente se obstruyen tubos para extraer la diferencia de presión.
- Se requiere un largo tramo en línea recta en el curso superior y en el curso inferior.
- Las pérdidas de presión son grandes, ya que se reduce el flujo.

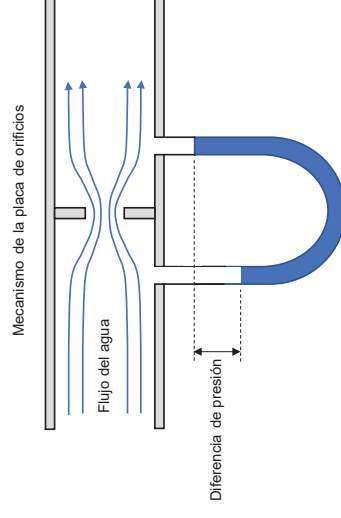


Figura 4.11 Principio de funcionamiento del caudalímetro tipo diferencia de presión





Medidor de Venturi

Medidor de Diferencia de Presión

**Figura 4.12 Un ejemplo de caudalímetros tipo diferencia de presión**

#### Medidor de turbina

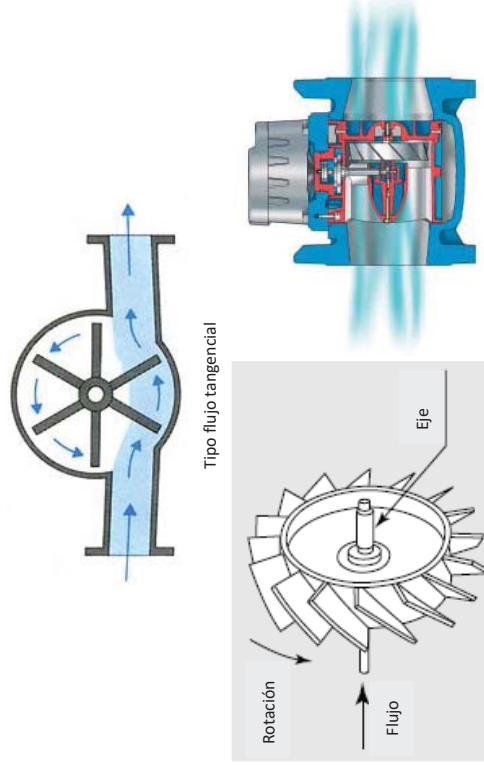
Los medidores tipo turbina se colocan en medio del flujo y el caudal se calcula a partir del número de rotaciones de la turbina aprovechando que la velocidad de rotación de la turbina que tiene un eje paralelo al flujo es proporcional a la velocidad del flujo. El conteo del número de rotaciones se realiza convirtiendo los pulsos extraídos como señales en caudales mediante la incrustación de imanes en los extremos de la turbina y en el rotor.

En caso del micromedidor, el flujo de agua es recibido en los extremos de la turbina con una estructura similar a la de un molino hidráulico, mientras en caso del medidor tipo turbina de diámetro grande, el flujo de agua es recibido en toda la superficie del propulsor con una estructura similar a la de un molino de viento.

El tipo de la estructura similar a la de un molino hidráulico se denomina como "tipo flujo tangencial" y el flujo de agua choca en la dirección de rotación de la turbina.

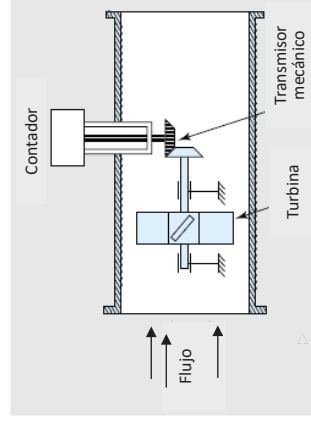
Por otro lado, el tipo de la estructura similar a la de un molino de viento se denomina como "tipo flujo axial" y el flujo de agua choca perpendicularmente contra la turbina.

Existen tres formas de transmisión de los movimientos de la turbina: tipo mecánico, óptico y magnético. El tipo mecánico es barato y también se denomina como medidor mecánico.



Tipo flujo tangencial

Tipo flujo axial (Woltman)



Tipo mecánico

**Figura 4.13 Mecanismo del medidor tipo turbina**

### Caudalímetro electromagnético

El caudalímetro electromagnético tiene como principio de medición la Ley de inducción electromagnética de Faraday.

La Ley de inducción electromagnética de Faraday se resume en lo siguiente: "Cuando la conductividad eléctrica se desplaza en el campo magnético, se genera la fuerza electromotriz dentro de ese objeto".

El caudalímetro tiene en su interior la bobina magnética que genera el campo magnético y el electrodo que capta la fuerza electromotriz.

Según la Ley de inducción electromagnética de Faraday, cuando un líquido con conductividad eléctrica se desplaza en el campo magnético terrestre, se genera la fuerza electromotriz proporcional a

$\text{Diámetro interior del tubo} \times \text{Densidad del flujo magnético} \times \text{Velocidad promedio del flujo}$ .

Es decir, la velocidad del flujo del líquido que se desplaza en el área de flujo magnético se convierte en electricidad.

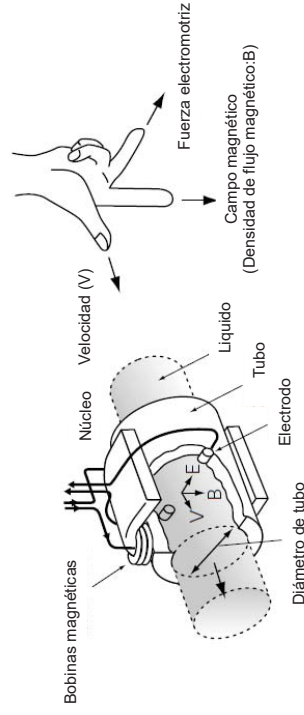


Figura 4.14 Mecanismo de la Ley de Faraday y el caudalímetro electromagnético

Cuando cambia el caudal, la fuerza electromotriz (tensión) complementada por el electrodo cambia como lo siguiente.

Entre más alta la velocidad del flujo, más grande la energía cinética del agua y más grande la tensión generada.

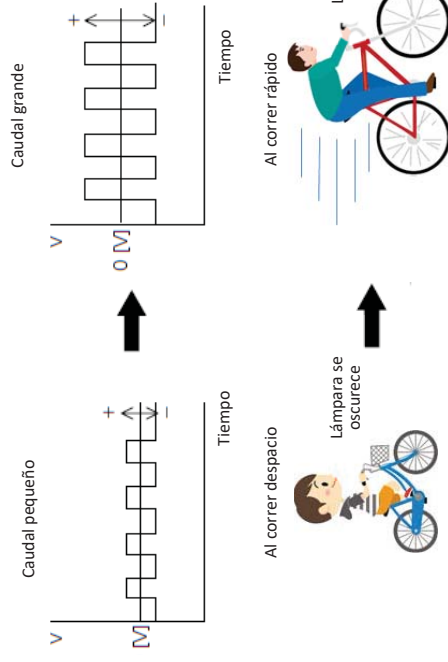


Figura 4.15 Relación entre los cambios de caudal (velocidad del flujo) y la fuerza electromotriz

#### [Ventajas]

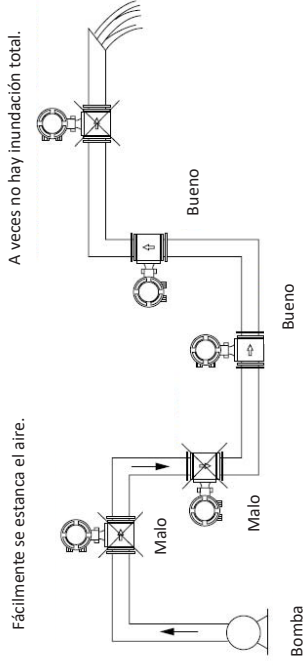
- La temperatura, la presión, la densidad y la viscosidad del líquido no afecta.
- Se puede detectar el líquido que contenga objetos mezclados como burbujas de aire.
- Poca pérdida de presión
- Buena responsividad y alta precisión
- Fácil mantenimiento ya que no tiene partes móviles

#### [Desventajas]

- No se puede medir los gases o el líquido sin conductividad eléctrica.
- Se requiere una parte en línea recta en el curso superior y en el curso inferior.

## [Precauciones de instalación]

- No instalar en lugares donde no se garantiza la inundación total, por ejemplo, donde fácilmente se estanca el aire, en la inclinación hacia abajo o justo antes de la salida de la tubería, etc.



- Es deseable que la velocidad promedio del flujo sea entre 2 y 4m/seg.
- Cuando la velocidad promedio del flujo es menos de 1m/seg, la fuerza electromotriz se vuelve más pequeña y la precisión empeora.
- Cuando la velocidad promedio del flujo es más de 6m/seg, aumenta el riesgo de dañar la alineación del interior del tubo.
- Cuando la velocidad del flujo baja al utilizar el mismo diámetro de la tubería, se instalan uniones reductoras antes y después del tramo para poder mantener un rango adecuado de velocidad del flujo.

**Tabla 4.10 Longitud óptima del tramo en línea recta en la medición con caudalímetro electromagnético**

1-1) Parte de agua arriba de reductor Caudalímetro Flujo ↑ 5D	2-1) Parte de agua abajo de reductor Caudalímetro Flujo ↑ No es necesario el tramo recto
1-2) Parte de agua arriba de amplificador Caudalímetro Flujo ↑ 5D	2-2) Parte de agua abajo de amplificador Caudalímetro Flujo ↑ No es necesario el tramo recto
1-3) Parte de agua arriba de válvula Caudalímetro Flujo ↑ 10D Nota: 5D en caso de 100% abierta	2-3) Parte de agua abajo de válvula Caudalímetro Flujo ↑ 2~3D
1-4) Parte de agua arriba de codo Caudalímetro Flujo ↑ 5D	2-4) Parte de agua abajo de codo Caudalímetro Flujo ↑ 2~3D
1-5) Parte de agua arriba de T Caudalímetro Flujo ↑ 5D	2-5) Parte de agua abajo de T Caudalímetro Flujo ↑ 2~3D

[Comprensión de la precisión]

La expresión de la precisión se clasifica en dos formas: Precisión RS (Read scale o valor de lectura) y Precisión FS (Full scale o valor máximo).

Para seleccionar los caudalímetros, es importante conocer suficientemente qué es lo que tiene que medir y en cuál rango de caudales, luego comparar las especificaciones de los productos.

Tabla 4.11 Formas de expresión de la precisión

	RS	FS
Significado	Se expresa como “+/-.*% RS” que significa “una precisión de *.*% de tasa de error sobre el valor indicado” en cualquier rango de caudales.	Previamente se establece el valor máximo medido (a plena escala) y se expresa como “+/-.*% FS” que significa “.*% de errores generados sobre el valor máximo.
Explicación	Si está dentro del rango de caudales de precisión garantizada, la tasa de error es siempre la misma, por lo tanto se puede detectar con tranquilidad incluso en la medición de microcaudales o caudales con grandes variaciones.	Entre más pequeño el caudal, relativamente más grande el error. Por ejemplo, con un caudalímetro capaz de medir hasta 100m <sup>3</sup> /h con la precisión FS de +/-1%, se calcula como lo siguiente: 100m <sup>3</sup> /h x 0.01 = 1.0m <sup>3</sup> /h (1% de error) 50m <sup>3</sup> /h x 0.02 = 1.0m <sup>3</sup> /h (2% de error) 10m <sup>3</sup> /h x 0.10 = 1.0m <sup>3</sup> /h (10% de error)

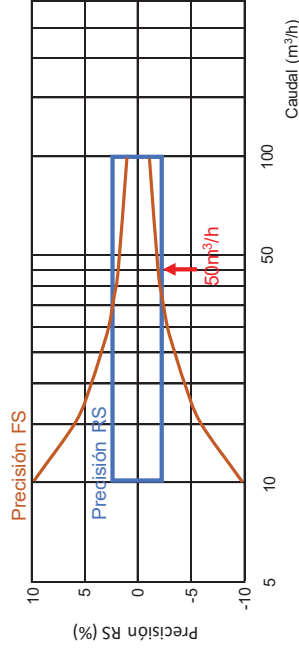


Figura 4.16 Gráfico comparativo de Precisión RS y Precisión FS

Caudalímetro ultrasónico

(1) Características del ultrasonido

El caudalímetro ultrasónico es un caudalímetro para obtener la salida proporcional al caudal de la tubería, aprovechando la naturaleza del ultrasonido que cambia la velocidad de propagación en el líquido de acuerdo a la velocidad del flujo del fluido.

Las características del ultrasonido son la velocidad de propagación más lenta y la longitud de onda más corta en comparación con las ondas de radio.

Velocidad de propagación de ondas de radio : aproximadamente 300.000km/seg

Velocidad de propagación de ultrasonido : aproximadamente 340m/seg

Cuando la distancia entre los objetos es extremadamente larga, por ejemplo, las antenas de televisión de decenas de kilómetros de distancia o los planetas, la velocidad de propagación de ondas de radio es más práctica y se utiliza para radares y comunicaciones. Sin embargo, en distancias cortas como la tubería, el tiempo de llegada de las ondas de radio es extremadamente corto y es sumamente difícil detectar la diferencia del tiempo de tránsito. Por esta razón, en caso del caudalímetro, es más práctico utilizar el ultrasonido cuyo tiempo de tránsito es lento.

Se habla de que el “espectro audible por el oído humano” está en el rango de frecuencias comprendidas entre los 20Hz (tono bajo) y los 20,000Hz (tono alto). Los sonidos fuera de este rango, es decir, el tono bajo inferior a 20Hz y el tono alto superior a 20,000Hz se denominan como “ultrasonidos”.

Los “sonidos” que incluyen los ultrasonidos se propagan dentro de un medio, sean gases, líquido o sólido, y no se propagan en el vacío.

Asimismo, la facilidad de propagación varía dependiendo del medio, y la eficiencia de propagación y la velocidad tienden a ser más alta por el orden de: Gases < Líquido < Sólido. La velocidad del sonido en el aire es de 340m/seg aproximadamente, sin embargo, en el agua, es de 1,500m/seg aproximadamente.

(2) Ventajas y desventajas del caudalímetro ultrasónico

[Ventajas]

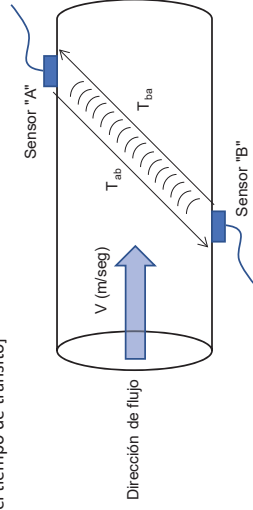
- La temperatura, la presión, la densidad y la viscosidad del líquido no afecta.

- Si es un líquido que permite pasar el ultrasonido, no importa si tiene conductividad eléctrica o no.
  - Poca pérdida de presión
  - Se puede medir amplio rango de caudales con un caudalímetro.
  - Si es de tipo abrazadera que permite detectar por fuera de la tubería, no es necesario realizar la obra de corte de tubo.
  - Se puede medir el flujo inverso, ya que la estructura está diseñada para ambos cursos superior e inferior.
  - La velocidad de respuesta es rápida y puede seguir el flujo pulsátil.
- [Desventajas]
- La mezcla de burbujas de aire, objetos extraños, etc., en el líquido genera errores.
  - El óxido y el deterioro de la superficie del interior del tubo afecta la precisión de medición.
  - Se requiere una parte en línea recta en el curso superior y en el curso inferior.
  - La precisión de medición del caudalímetro tipo abrazadera es apenas 2 - 3% de la Precisión a plena escala.

### (3) Principio de medición del caudalímetro ultrasónico

La mayoría de los caudalímetros ultrasónicos comercializados actualmente es de "Tipo diferencia del tiempo de tránsito".

[Diferencia del tiempo de tránsito]



**Figura 4.17 Principio del caudalímetro ultrasónico**

Se colocan transductores (sensores ultrasónicos) en la posición previamente establecida de la tubería, y alternativamente se emite y se recibe el ultrasonido.

Cuando no hay flujo, el tiempo de tránsito del ultrasonido desde el curso superior A hasta el curso inferior B ( $T_{ab}$ ) es el mismo del tiempo de tránsito desde B hasta A ( $T_{ba}$ ).

Cuando hay flujo en el interior del tubo, el ultrasonido que se propaga desde A hasta B transita más rápido que cuando no hay flujo, ya que la dirección es la misma del flujo. Al contrario, si la propagación es desde B hasta A, el tiempo de tránsito es más lento que cuando no hay flujo, ya que la dirección es contraria al flujo.

Un caudalímetro ultrasónico detecta esta diferencia del tiempo de tránsito y calcula la velocidad del flujo del fluido por la fórmula del principio. El valor calculado es la velocidad promedio del flujo, y el caudal se obtiene multiplicando este valor por la superficie interior del tubo.

Donde la velocidad del flujo es V, el tiempo de tránsito desde el curso superior hasta el curso inferior es  $T_{AB}$  y desde el curso inferior hasta el curso superior es  $T_{BA}$ , la longitud del trayecto de propagación es L, la velocidad del sonido en el fluido es C y el ángulo que forma el trayecto de flujo y el trayecto de propagación del ultrasonido es  $\theta$ , se obtiene

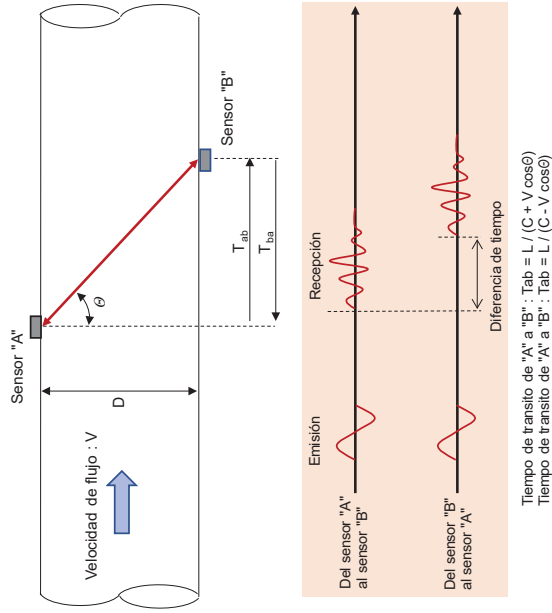
$$T_{ab} = L / (C + V \cos \theta), T_{ba} = L / (C - V \cos \theta)$$

La velocidad del flujo se obtiene con la siguiente.

$$V = (L / 2 \cos \theta) \cdot (1 / T_{ab} - 1 / T_{ba})$$

Donde el caudal es Q y el diámetro de la tubería es D, se puede obtener el caudal

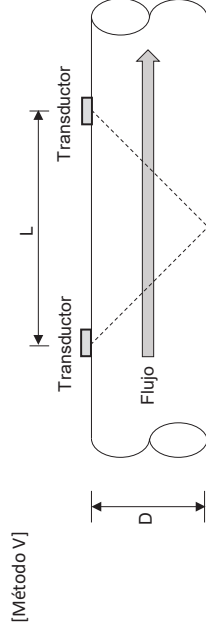
$$Q = (\pi D^2 / 4) \cdot V$$



**Figura 4.18 Cálculo de caudal por la diferencia del tiempo de tránsito ( $\Delta T$ )**

Cabe señalar que las fórmulas anteriores son simplificadas, y estrictamente hablando no son correctas. La velocidad del flujo V para convertirla en caudal debe ser la velocidad promedio del flujo de toda la sección transversal del tubo. Sin embargo, la velocidad del flujo medida con caudalímetro ultrasónico es la velocidad promedio del flujo en el trayecto de propagación del ultrasonido (se denomina como velocidad lineal promedio del flujo) y no es la velocidad promedio del flujo de la sección, por lo tanto hay algunos errores entre estas dos. Por consiguiente, en el caudalímetro actual, el caudal se obtiene corrigiendo el valor de la velocidad del flujo detectada con el "coeficiente de corrección de caudal" para que sea la velocidad promedio del flujo de la sección, luego multiplicando el valor corregido por la sección transversal.

**(4) Método de instalación de los sensores**



**Figura 4.19 Método de instalación V**

Es el método de instalación más básico y más fácil, también se llama Modo reflejo.

Es más fácil establecer correctamente la distancia entre los sensores ya que se permite instalar transductores (sensores) en el cuerpo del tubo sujetándolos en un riel de guía.

Algunas veces, las señales no se reciben bien con el método V cuando se utiliza el tubo de resina, el tubo de diámetro grande y el revestimiento de mortero en el interior del tubo. Normalmente se elige el método V, sin embargo, en los siguientes casos se aplica el método Z u otros.

- Cuando no hay espacio para instalar
- Cuando la turbidez del líquido es alta
- Cuando las señales de recepción son débiles
- Cuando hay una gruesa capa de depósitos en el interior de la tubería

Aunque los transductores y el diámetro aplicable varían según caudalímetros, en caso de Protaflo C de Fuji Electronics, son los siguientes.

Tabla 4.12 Tipo de transductores de Portaflojo C

Tipo	Temperatura de líquido (°C)	Método	Díametro
FSSC	de 40 a 120	V	300
		Z	1200
FSSE	de 40 a 80	V	3000
		Z	6000
FSSD	de 40 a 100	V	300
		Z	300
FSSH	de 40 a 200	V	250
		Z	400

Tipo de tubo: P: PVDF (Polivinilidene Difluoride), PP (Polypropylene), PE (polyethylene)  
 P: Plástico (PVC y otro)  
 M: Metálico (Acero, Cobre, Aluminio etc.)

[Método Z]

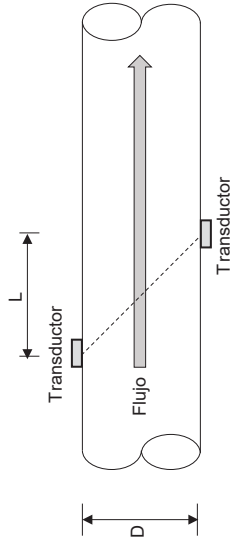


Figura 4.20 Método de instalación Z

También se llama Modo directo.

Se puede aplicar a la medición de caudal para fluidos o tubos sin buenas condiciones de propagación del ultrasonido, ya que se permite acortar el trayecto de propagación del ultrasonido. En comparación con los metales, las resinas sintéticas tienden a atenuar más la propagación del ultrasonido, por lo que se recomienda medir con el método Z si el material del tubo a medir es de resinas sintéticas.

Asimismo, cuando no hay espacio para instalar, también se utiliza el método Z, ya que requiere sólo la mitad de la longitud del tubo recto utilizado en el método V.

[Método W]

Existe un método para algunos caudalímetros llamado Método W que se mide superponiendo varios V. Cuando el diámetro de la tubería es pequeño y con el método V no se logra una buena precisión porque el trayecto de propagación es corto, se utiliza el método W para comprobar si se puede medir con este método.



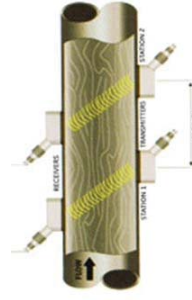
[Método de soldadura interna]

Es el método que instala el transductor en la parte exterior del cuerpo del tubo. Es fácil, pero el ultrasonido se atenúa al pasar por la pared o el revestimiento del interior del tubo y afecta la intensidad de recepción de las señales. Para ello, es mejor medir directamente sólo el fluido en el tubo para lograr una precisión mucho mejor. Aplicando esta teoría, existe un caudalímetro que viene con transductor incrustado en la pared del tubo. Este tipo de caudalímetro se utiliza para tubos de diámetro mediano y grande como el acueducto de transmisión y la tubería madre.



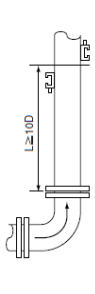
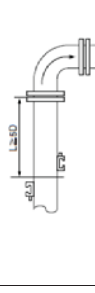
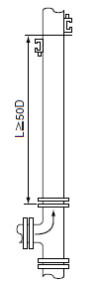
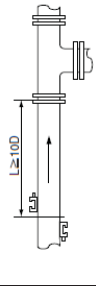
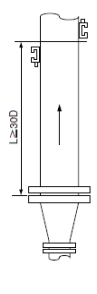
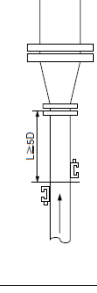
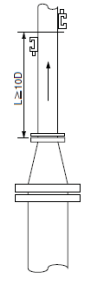
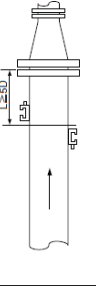
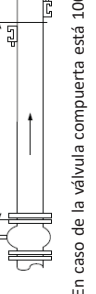
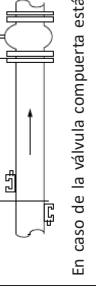
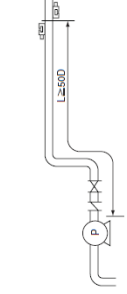
[Método de correlación cruzada]

Se mide el caudal utilizando 2 pares de sensores de transmisión y recepción, un sensor que únicamente transmite señales de ultrasonido y otro que únicamente las recibe.



Se aplica la correlación cruzada a la intensidad de recepción de los sensores del primer par y del segundo par, y se calcula el tiempo de coincidencia de los patrones de las formas de onda de cada sensor. A partir de este tiempo y la distancia entre los sensores se mide el caudal.

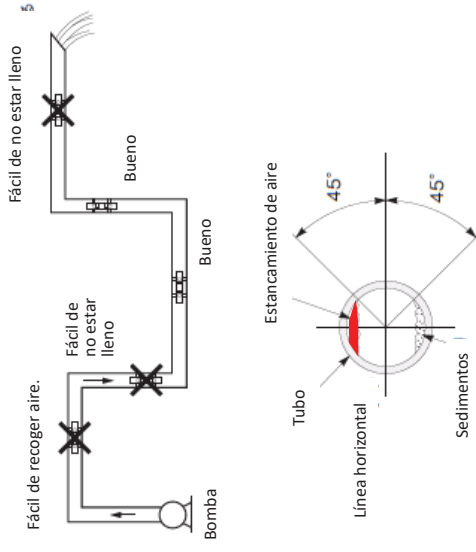
**Tabla 4.13 Longitud óptima del tramo en línea recta en la medición con caudalímetro ultrasónico**

Tipo	Curso superior	Curso inferior
Codo 90°		
Tee de derivación		
Unión ampliadora		
Unión reductora		
Válvula		
Salida de bomba	 <p>En caso de la válvula compuerta está 100% abierta, <math>L \geq 10D</math> para el caudalímetro ultrasónico</p> <p>En caso de la válvula compuerta está 100% abierta, <math>L \geq 5D</math> para el caudalímetro ultrasónico</p>	

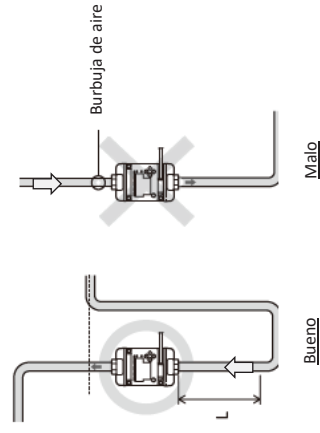
Fuente: JIS JEMIS-032

[Precauciones de instalación]

- No instalar en lugares donde no se garantiza la inundación total, por ejemplo, donde fácilmente se estanca el aire, en la inclinación hacia abajo o justo antes de la salida de la tubería, etc.

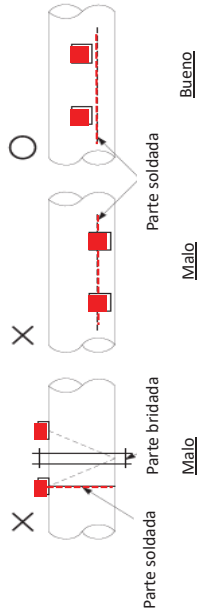


- Hacer fluir desde abajo hacia arriba.

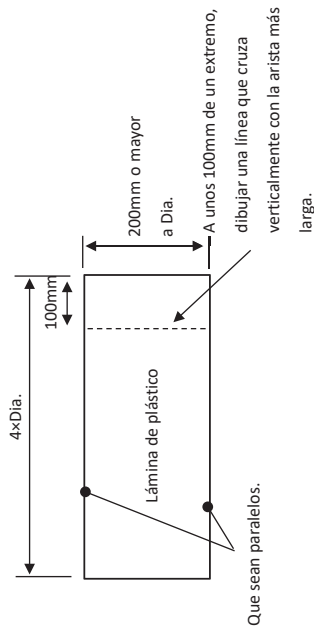




- No instalar transductores en la parte bridada ni en la parte soldada.



- Medir exactamente la posición del transductor y sujetarlo cuidadosamente. Especialmente, cuando se aplica el método Z, es deseable determinar la posición exacta utilizando un papel o una lámina de plástico para medir la circunferencia como lo siguiente.



Procedimiento	Figura de referencia
1. Alinear el borde de la lámina de plástico a unos 100mm de un extremo de la parte preparada para instalar el sensor y enrollar el plástico para que la línea dibujada en la lámina quede horizontal al eje del tubo. Sujetar con una cinta adhesiva alineando los bordes del plástico.	<p>Línea dibujada en la lámina de plástico 100mm Alinear a este borde.</p>
2. Extender la línea dibujada en la lámina de plástico y dibujar (tallar) la línea recta "A" en el cuerpo del tubo.	<p>Dibujar la línea A.</p>
3. Dibujar (tallar) una línea a lo largo de un borde del lámina de plástico. Establecer como A <sub>0</sub> el punto de cruce de esta línea y la recta A. En este punto se instala un sensor. Dibujar igualmente otra línea en el otro borde y establecer el punto de cruce A <sub>1</sub> .	<p>Dibujar una línea a lo largo de este borde. A<sub>0</sub> A<sub>2</sub> A<sub>0</sub> 200mm</p>
4. Medir la circunferencia con una cinta métrica desde el punto A <sub>0</sub> . A mitad de la circunferencia, establecer los puntos B <sub>0</sub> B <sub>1</sub> y dibujar (tallar) la línea recta B que une estos dos puntos.	<p>A<sub>0</sub> B<sub>0</sub> B<sub>1</sub> A<sub>0</sub> A<sub>1</sub> Línea recta B</p>
5. Marcar el punto B <sub>0</sub> y remover la lámina de plástico. Medir exactamente las dimensiones de instalación desde el punto B <sub>0</sub> y dibujar (tallar) una línea que cruce verticalmente con la línea B. Establecer este punto de cruce como B <sub>2</sub> y en este punto se instala otro sensor.	<p>100mm B<sub>0</sub> B<sub>2</sub> A<sub>0</sub> B<sub>0</sub> B<sub>2</sub></p>

#### 4.4 Funciones del caudalímetro ultrasónico

El caudalímetro ultrasónico que se utiliza comúnmente en el campo de agua y saneamiento se denomina como caudalímetro tipo abrazadera, y es económico sobre todo en la medición de caudales de las tuberías de diámetro grande. Podemos mencionar las siguientes características, aunque tiene factores limitadores como el grosor de la tubería y la flexión causada por las burbujas de aire en el líquido, además, la precisión de medición es apenas 2 - 3% del caudalímetro a plena escala.

Para utilizar el caudalímetro ultrasónico, es necesario primero comprender suficientemente la universalidad y las características mencionadas, luego aprender los métodos correctos de medición.

- Independientemente del diámetro, el precio del equipo es estable.
- Se puede medir y reparar sin detener el flujo.
- Es totalmente sin contacto con el fluido.

Los tipos de caudalímetros son diversos y para muchos usos. La forma de caudalímetro se determina de acuerdo a la naturaleza del objeto a medir y el lugar de instalación, luego, revisando las especificaciones según la precisión de medición requerida y comparando los costos, se selecciona el tipo de caudalímetro.

A continuación, se muestran las funciones, las características y los modos de uso de 2 tipos de caudalímetros ultrasónicos que posee ENACAL.

#### Comparación de las especificaciones

**Tabla 4.14 Comparación de las especificaciones de 2 tipos de caudalímetros ultrasónicos**

	Porta Flow C	Chrono FLO
Diámetro aplicable	De 13 a 6000mm	De 19mm a 3000mm
Transductor (Sensor)	FSSD: de 50mm a 1.200mm (posee ENACAL) FSSE: de 200mm a 6000mm FSSD: de 13mm a 300mm FSSH: de 50mm a 400mm	0.5MHz: de 500mm a 3000mm 1MHz: de 50mm a 2000mm 4MHz: de 19mm a 100mm
Rango de velocidad	0, de +/-0.3 a +/-32 m/seg	Hasta +/-25 m/seg
Precisión nominal	[Diá.13mm -Diá.50mm] -Velocidad entre 2 y 32m/seg de +/-1.5% a +/-2.5% de valor indicado -Velocidad entre 0 y 2m/seg ±0.03m/seg [Diá.50mm -Diá.300mm] -Velocidad entre 2 y 32m/seg de +/-1.0% a +/-1.5% de valor indicado -Velocidad entre 0 y 2m/seg de +/-0.02m/seg a ±0.03m/seg [Diá.300mm -Diá.6000mm] -Velocidad entre 1 y 32m/seg de +/-1.0% a +/-1.5% de valor indicado -Velocidad entre 0 y 1m/seg de +/-0.01m/seg a ±0.02m/seg	[con calibración] ±0.5% de valor indicado [sin calibración] De ±1% a ±2% de valor indicado
Fuente de alimentación eléctrica	Batería de litio interna (5000mAh) 12 horas de operación continua	Batería NiMH interna (7000mAh) 10 horas con LCD encendido 80 horas con LCD apagado
Calibración de cero	Manual	Manual
Intervalo mínimo de registrador de datos	10 segundos	1 segundos
Tiempo de respuesta	1 segundo	-
Criterio de la intensidad de señal	Intensidad de recepción de señal: Normal en 35% o mayor	-
Comunicación Serial	USB	RS232, RS485
Memoria exterior	Max. 8 GB de Tarjeta SD	-
Grado de impermeabilidad	Cuerpo: IP64 s/impresora Transductor: IP65 c/protección vinil	Cuerpo: IP67 Transductor: IP68
Frecuencia de honda ultrasónica		0.5MHz: de 500mm a 3000mm 1MHz: de 50mm a 2000mm 4MHz: de 19 a 100mm

### Comprensión sobre la precisión de la medición con Portafo C

Cada caudalímetro ultrasónico expresa en forma diferente los errores garantizados según el rango de velocidad del flujo del fluido a medir.

En caso de Portafo C, la precisión garantizada son los siguientes. Normalmente, cuando la velocidad del flujo es más de 2m/seg, los errores son estables, aunque hay que tener cuidado con la velocidad del flujo lenta, ya que entre más lenta, más grandes los errores.

**Tabla 4.15 Precisión garantizada de Portafo C**

Díámetro	Velocidad de flujo	Precisión
De 13mm a 25mm	De 2 a 32 m/seg	+/-2.5% del valor indicado
	De 0 a 2 m/seg	+/-0.05 m/seg
De 25mm a 50mm	De 2 a 32 m/seg	+/-1.5% del valor indicado
	De 0 a 2 m/seg	+/-0.03 m/seg
De 50mm a 300mm	De 2 a 32 m/seg	De +/-1.0% a +/-1.5% del valor indicado
	De 0 a 2 m/seg	De +/-0.02 a +/-0.03 m/seg
De 300mm a 6000mm	De 1 a 32 m/seg	De +/-1.0% a +/-1.5% del valor indicado
	De 0 a 1 m/seg	De +/-0.01 a +/-0.02 m/seg

[Ejemplo de cálculo]

Tubería de diámetro 50mm

Donde la velocidad del flujo es de 2m/seg, el error E (%) es  $\pm 0.03$ m/seg, por tanto,

$$\pm 0.03 = 2 \times E / 100$$

$$E = \pm 0.03 \times 100 / 2 = 1.5 (\%)$$

Donde la velocidad del flujo es de 1m/seg, el error E (%) es  $\pm 0.03$ m/seg, por tanto,

$$\pm 0.03 = 1 \times E / 100$$

$$E = \pm 0.03 \times 100 / 1 = 3.0 (\%)$$

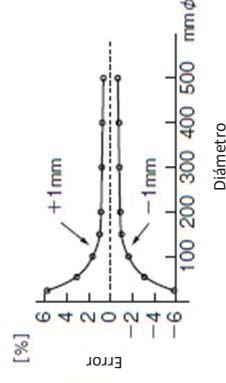
### Influencia del error del diámetro interior del tubo

Cuando el diámetro interior del tubo que va a ingresar al sistema es diferente a la dimensión actual, se puede esperar que un error del 1% cuando se convierte en caudal aparece como aproximadamente 3% de error.

**Tabla 4.16 Influencia del error del diámetro interior en el valor medido (1)**

V=0.5m/seg	Diámetro interior	
	99mm (Área: 0.007694m <sup>2</sup> )	100mm (Área: 0.007850m <sup>2</sup> )
0.003847 m <sup>3</sup> /seg	0.003925 m <sup>3</sup> /seg	0.004004 m <sup>3</sup> /seg

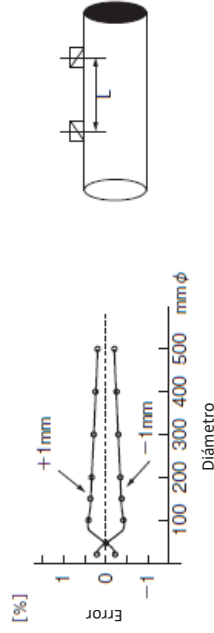
La siguiente Figura muestra los errores de medición de caudal cuando hubo 1mm de error en el valor del diámetro interior.



**Figura 4.21 Influencia de 1mm de error del diámetro interior del tubo en el error de medición de caudal**

### Influencia del error de la distancia entre los sensores a instalar

Se puede esperar que  $\pm 1\text{mm}$  de error de distancia entre los sensores a instalar produzca aproximadamente menos de 1% de error de medición de caudal.



**Figura 4.22** Influencia de 1mm de error de la distancia entre los sensores en el error de medición de caudal

### Precauciones en la comparación con otros caudalímetros

Los termómetros y los presiómetros son fáciles de calibrar en el terreno, sin embargo, es difícil calibrar caudalímetros. Cuando se utiliza el caudalímetro ultrasónico para verificar la precisión de otros caudalímetros, deberán tener mucho cuidado con los siguientes puntos.

- Considerar los errores de los demás caudalímetros.
- Tener cuidado con la expresión de la precisión de los demás caudalímetros (FS%, RS%) y estimar el grado de errores de calibración.
- Si hay diferencias, revisar recopilando los datos sistematizados.
- No comparar los caudales en un solo punto sino evaluar en varios rangos de caudales escribiendo los datos medidos en el gráfico.
- Verificar suficientemente el sistema de tuberías.
- Aunque piensan que es el mismo sistema de tuberías, si existen entradas o salidas desde las tuberías de derivación, puede equivocarse en la evaluación.
- Es difícil hacer la comparación de 2 caudalímetros.

Normalmente, cuando surgen diferencias entre los valores medidos en 2 caudalímetros, es difícil juzgar en el terreno cuál es el correcto. Es necesario comprobar de antemano los criterios de referencia, por ejemplo, la capacidad de conducción de la bomba, los cambios en los niveles de agua en los tanques de capacidad conocida, etc.

### Precauciones en el registro de datos

A continuación, se muestran los factores que pueden provocar confusiones en el registro de datos del caudalímetro ultrasónico.

- Datos de campo ingresados al sistema
- Denominación del sitio
- Unidad del caudal a registrar
- Intervalo de registro

Si cada encargado de medición emplea sus propias reglas de unidad de medidas o denominación, aumenta la posibilidad de causar errores graves en el análisis posterior de los datos guardados.

Las reglas recomendadas son las siguientes. Preferiblemente, que se establezcan de antemano reglas como estas: la unidad de  $\text{m}^3/\text{h}$  para el caudal mínimo nocturno ( $Q_{\text{min}t}$ ) del microsector, el intervalo de 10 segundos, etc.

Asimismo, es deseable establecer de antemano las reglas unificadas para poner nombre a los datos guardados, por ejemplo, guardar como "Sector xx\_Qmmf\_2019.03.15.csv" o "Sector xx\_Qmmf\_2019.03.15.xlsx".

Tabla 4.17 Reglas del registro de datos

Rubro 1	Rubro 2	Puntos de consideración
Datos a ingresar al sistema	Tipo, grosor y diámetro interior del tubo, distancia entre los sensores a instalar	Cuando se mide la misma tubería varias veces, siempre ingresar los mismos datos.
Fecha	"Nombre de Dato" _2019xxxx_.csv	Es deseable poner fecha en el nombre de los datos.
Nombre del sitio	Macro xx Micro xx Submicrosector xx Line xx Pozo xx	En la medida que sea posible, utilizar el mismo nombre del sitio.
Unidad	Caudal Ordinario Caudal Mínimo Nocturno ( $Q_{minf}$ ) Caudal Directo ( $Q_{direct}$ ) Caudal de entrada Macrosector Caudal de entrada Microsector Caudal de entrada Submicrosector	$m^3/h$ $m^3/d$ , $m^3/min$ $m^3/h$ , $L/min$ $m^3/h$ $m^3/h$ , $L/min$ $m^3/h$ , $L/min$
Intervalo de registro	Caudal Ordinario Caudal Mínimo Nocturno ( $Q_{minf}$ ) Caudal Directo ( $Q_{direct}$ ) Caudal de entrada Macrosector Caudal de entrada Microsector Caudal de entrada Submicrosector	1min, 30seg, 10seg, 10seg, 5seg, 2seg, 10seg, 5seg, 1seg, 1min, 30seg, 10seg, 10seg, 5seg, 2seg, 10seg, 5seg, 2seg.

4.5 Medición de caudal mínimo nocturno ( $Q_{minf}$ )Método de medición de  $Q_{minf}$ 

Un método efectivo para detectar la presencia de fugas que es el mayor componente de Agua No Facturada (ANF) física y para estimar su gravedad es medir el volumen que entra al sector hidráulicamente aislado y analizar el caudal mínimo nocturno ( $Q_{minf}$ ).

Durante la noche, se registra la menor demanda de los usuarios, por lo que se supone que la mayoría de  $Q_{minf}$  son fugas generadas en el sector, aunque existe cierto nivel de consumo.

El horario de medición se establece entre las 0 horas de la medianoche hasta las 6 de la madrugada. Generalmente, el horario central del análisis de  $Q_{minf}$  es entre las 2 y 4.

Su objetivo es medir el caudal mínimo nocturno, por lo tanto no es necesario el aislamiento hidráulico de 24 horas de todo el día, como mínimo se requiere estar aislado de las redes colindantes únicamente en la noche.

Los métodos de medición de caudal mínimo nocturno se clasifican globalmente en dos tipos.

**Tipo Permanente** : Se instalan de manera permanente los caudalímetros y las fosas en la entrada del sector para poder monitorear los datos continuamente a largo plazo. Corresponde a los microsectores AZA No.3 y MS No.61.

**Tipo Temporal** : Se protege la parte de línea recta de la tubería de entrada con un manjón (pozo de registro), y los caudalímetros ultrasónicos u otros equipos especiales de medición de caudales se instalan únicamente cuando se realiza la medición de corto tiempo.

El tipo permanente requiere construir la estructura y los costos de operación, por lo tanto, cuando sólo existen uno o dos puntos de entrada al sector, se recomienda el tipo temporal por ser más económico.

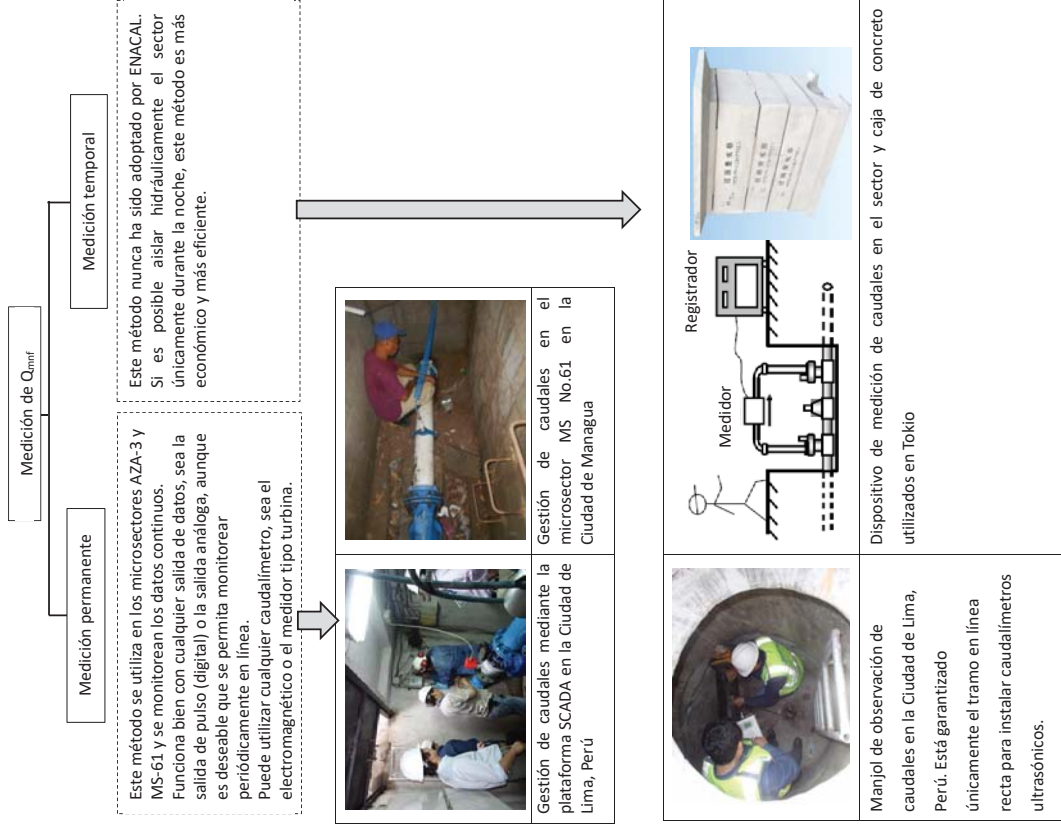


Figura 4.23 Clasificación de métodos de medición de  $Q_{mif}$

Medición de  $Q_{mif}$  y Prueba de paso

En la mayoría de los casos, la medición de  $Q_{mif}$  se realiza en unas 500 - 1,000 conexiones. Por ejemplo, cuando se logró dividir la distribución de los demandadores de 1,000 hidrantes en 5 subsectores como lo siguiente, es necesario realizar un estudio para determinar en qué subsector hay mayor  $Q_{mif}$ .

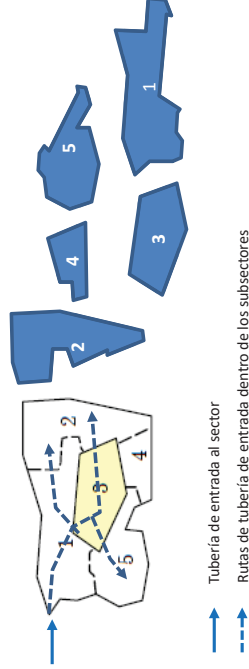


Figura 4.24 División de los subsectores

Tomando en cuenta los tipos de usuarios y las condiciones del uso del agua, a partir de la hora nocturna cuando comienzan a consumir menos, se manipulan las válvulas para aislar los subsectores 2, 4, 5 y 3 consecutivamente. Por ejemplo, si se aísla primero el subsector 2, se puede medir  $Q_{mif}$  de los subsectores 1, 3, 4 y 5, y el volumen reducido en este momento es el  $Q_{mif}$  del subsector 2.

Si es difícil cortar el servicio de agua en el subsector 2 por mucho tiempo, es necesario realizar una obra para introducir una tubería de respaldo desde la red colindante para continuar suministrando el agua durante el horario del estudio.

La siguiente Tabla es un ejemplo de los resultados de la Prueba de paso anteriormente mencionada. Con estos resultados se puede determinar que el subsector 3 tiene la situación más grave. Estos datos obtenidos necesariamente revelan que el Subsector 3 conlleva un volumen desconocido que pareciera ser el volumen de fugas. De esta manera, se puede identificar las áreas y las rutas que requieren mayores estudios.

Cabe señalar que para la comparación de los datos, también hay que considerar el transcurso del tiempo, ya que generalmente el consumo es menor a las 2 de la madrugada que las 0 horas.

**Tabla 4.18 Resultados de la Prueba de paso**

Horario	Sector aislado	Valor medido del caudal	Diferencia de volumen
0:00 – 1:00	-	55 m <sup>3</sup> /h	-
1:00 – 1:15	Subsector 2	45 m <sup>3</sup> /h	Q <sub>med</sub> del subsector 2: 10 m <sup>3</sup> /h
1:30 – 1:45	Subsector 4	40 m <sup>3</sup> /h	Q <sub>med</sub> del subsector 4: 5 m <sup>3</sup> /h
2:00 – 2:15	Subsector 5	35 m <sup>3</sup> /h	Q <sub>med</sub> del subsector 5: 5 m <sup>3</sup> /h
2:30 – 2:45	Subsectors3	15 m <sup>3</sup> /h	Q <sub>med</sub> del subsector 3: 20 m <sup>3</sup> /h Q <sub>med</sub> del subsector 1: 15 m <sup>3</sup> /h

Cuando se implementa la Prueba de paso, es necesario registrar la hora de manipulación de las válvulas y el tiempo requerido para la determinación. Para el registro, se debe unificar la unidad de medidas para no producir confusiones en el análisis debido a las diferentes personas que miden. La unidad m<sup>3</sup>/h es conveniente para manejar los caudales de todo el subsector y L/min es útil para comparar con Q<sub>direct</sub> que se realiza aparte.

**Tabla 4.19 Contabilización de los datos de la Prueba de paso**

Subsector	Información de la manipulación de las válvulas	Hora de determinación	Volumen medido	
			(m <sup>3</sup> /h)	(L/h)
Subsector 1		2:30 a.m.	15 m <sup>3</sup> /h	250 L/min
Subsector 2		1:15 a.m.	10 m <sup>3</sup> /h	166.7 L/min
Subsector 3		2:30 a.m.	20 m <sup>3</sup> /h	333.3 L/min
Subsector 4		1:45 a.m.	5 m <sup>3</sup> /h	83.3 L/min
Subsector 5		2:15 a.m.	5 m <sup>3</sup> /h	83.3 L/min

**4.6 Situación real del caudal nocturno en los hogares, y análisis de Q<sub>mnf</sub>****Cálculo de caudal nocturno**

A través del proyecto piloto ejecutado durante los años 2017 – 2019, se realizó el estudio situacional del consumo de agua durante más de 24 horas, ya que se suponía que en las redes de tuberías de la ciudad de Mangua se generaba bastante caudal nocturno. Se descubrió lo siguiente.

La siguiente Tabla son resultados del análisis de los datos de consumo de agua en el horario 0:00 - 6:00 en 15 conexiones seleccionadas de la ciudad de Mangua.

- Se calculó el caudal promedio nocturno de 81.9L/h.
- El horario de menor consumo fue de 1:00 a 2:00 con un 60.13L/h.

**Tabla 4.20 Resultados del estudio del rango de consumo**

Horario	Valor acumulado de consumo (L)	Consumo por una conexión		Ratio
		(L/h)	(m <sup>3</sup> /h)	
0:00 – 1:00	1,684	112.3	0.11	1
1:00 – 2:00	902	60.1	0.06	0.54
2:00 – 3:00	948	63.2	0.06	0.56
3:00 – 4:00	1,002	66.8	0.07	0.60
4:00 – 5:00	1,317	87.8	0.09	0.78
5:00 – 6:00	1,522	101.5	0.10	0.90
Total	7,375	-	-	-
Promedio	-	81.9	0.08	-

Los valores anteriores incluyen no sólo el consumo continuo en los hogares sino también las fugas existentes en las viviendas, el consumo temporal como el inodoro en la noche y el uso del agua ilegal (robo de agua).

De esta manera, cuando hay bastante caudal nocturno, es difícil estimar la situación real de la magnitud de las fugas y del robo de agua sólo con Q<sub>mnf</sub>. En este caso, es deseable cerrar el hidrante de cada hogar por subsectores, realizar la medición directa (Q<sub>direct</sub>) del caudal de entrada y esclarecer los desgloses del caudal nocturno.

[Ejemplo de estudio de caudal nocturno]

A continuación, se menciona el método de estimación del caudal nocturno en el microsector AZA No.3.

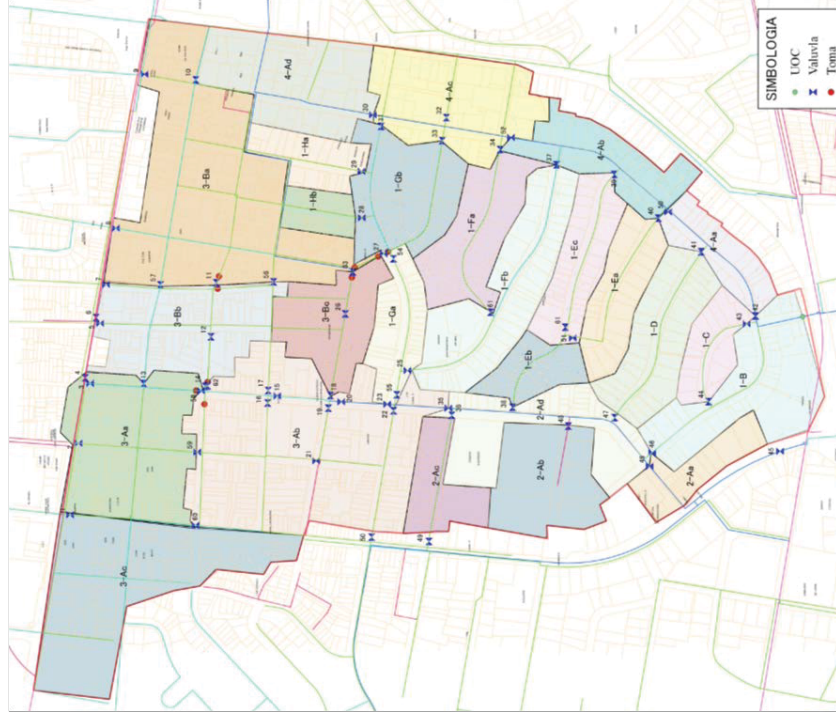


Figura 4.25 Subsectores de AZA No.3

En el estudio, se realizaron los siguientes trabajos en los subsectores.

- ① Verificar todos los medidores del sector y registrar los valores indicados por los medidores al inicio del estudio.
- ② Si está funcionando el medidor durante el estudio, medir el consumo con un cronómetro y registrarlos.
- ③ Después de transcurrir cierto tiempo, verificar nuevamente todos los medidores y registrar el aumento de valores indicados por los medidores.
- ④ Clasificar el volumen registrado en ② como volumen combinado de fugas en las viviendas y consumo continuo.
- ⑤ Clasificar el volumen registrado en ③ como consumo temporal.

Tabla 4.21 Resultados de la medición del caudal nocturno

Subsector	Voces de Medición	Nro. de Medidor Activo	①: Fuga Interna y Uso Constante			②: Uso Temporal			Uso de agua en promedio por conexión (m <sup>3</sup> /h/conex)
			Uso de agua Medidor (m <sup>3</sup> /h)	Uso de agua promedio por conexión (m <sup>3</sup> /h/conex)	Número de Medidor	Uso de agua Medidor (m <sup>3</sup> /h)	Uso de agua promedio por conexión (m <sup>3</sup> /h/conex)	Número de Medidor	
1C	1	14	6	1.137	0.086	1	0.280	0.020	0.106
	2	14	3	0.330	0.024	2	0.008	0.001	0.025
	1	31	8	0.346	0.008	11	0.810	0.027	0.035
	2	31	9	0.376	0.012	12	0.200	0.023	0.035
1Ea)	1	24	3	0.298	0.012	14	0.410	0.017	0.029
1Eb)	1	14	2	0.123	0.009	5	0.850	0.061	0.070
1Ec)	1	29	8	0.542	0.019	9	0.280	0.010	0.029
1Ed)	1	35	7	0.346	0.010	19	1.240	0.035	0.045
1Fb)	1	41	11	1.316	0.032	20	1.170	0.029	0.061
1Ga)	1	31	1	0.170	0.005	0	0.000	0.000	0.005
1Gb)	1	35	4	0.698	0.020	28	1.870	0.053	0.072
1Hd)	1	29	7	0.533	0.031	13	1.260	0.066	0.087
2Aa)	1	26	3	0.218	0.008	10	0.190	0.007	0.015
2Ab)	1	0	0	0.000	0.000	0	0.000	0.000	0.000
2Ac)	1	18	2	0.126	0.007	8	0.120	0.007	0.014
2Ad)	1	33	6	0.267	0.008	21	0.640	0.019	0.027
4Ab)	1	18	6	0.585	0.033	9	1.100	0.061	0.094
4Ab)	1	19	2	0.067	0.004	11	0.220	0.012	0.016
4Ab)	2	18	2	0.127	0.007	13	0.420	0.023	0.030
4Ac)	1	34	4	0.956	0.025	8	0.720	0.006	0.081
4Ad)	1	18	5	0.333	0.013	8	0.120	0.007	0.020
					0.019			0.024	0.048

Nota ①: Fugas interna de agua medidas por micromedidor.  
 Nota ②: Uso de agua contabilizada durante el período de medición, directa excepto las fugas internas.  
 Nota: El valor de uso de agua temporal en el subsector 4Ac) es lo estimado según otro subsector contiguo.

En estos resultados del estudio, se estimó el valor promedio del caudal nocturno por una conexión de un 0.043m<sup>3</sup>/h. En ese entonces, en el microsector AZA No.3 había 1,324 conexiones efectivas, por lo tanto, se puede calcular que el caudal nocturno de dicho sector es de



56.93m<sup>3</sup>/h.

La lectura de medidores en la noche se realiza en un horario limitado y no se puede realizar la lectura simultánea de todos los medidores, no obstante, es un método efectivo para estimar el valor promedio del caudal.

Posteriormente, restando este caudal nocturno obtenido del caudal mínimo nocturno ( $Q_{\text{mnf}}$ ) de todo el sector donde se monitorea cotidianamente, se puede calcular el valor de estimación global del volumen de pérdidas (físicas y comerciales) nocturnas.

#### 4.7 Método de medición del volumen de fugas, y evaluación

A través de la medición de caudal mínimo nocturno ( $Q_{\text{mnf}}$ ), se puede captar las generalidades de ANF física en el sector, y al realizar la medición directa del caudal ( $Q_{\text{directo}}$ ) por subsectorés, se puede conocer sus componentes específicos.

En caso de las redes de tuberías con poco caudal nocturno, también se puede analizar  $Q_{\text{mnf}}$  de todo el sector para considerar  $Q_{\text{mnf}}$  del horario de consumo mínimo como valor aproximado del volumen de fugas.

Sin embargo, para la ciudad de Managua donde no se puede identificar el horario sin consumo de agua a partir de  $Q_{\text{mnf}}$  se utiliza el método de medición directa.

#### Cálculo de volumen de pérdidas nocturnas

En caso de AZA No.3, el caudal mínimo nocturno ( $Q_{\text{mnf}}$ ) es de 103m<sup>3</sup>/h como se muestra en la siguiente Figura. Los resultados del estudio de la sección anterior calcularon el consumo nocturno de aproximadamente 57m<sup>3</sup>/h, por lo que se estima que esta diferencia de 46m<sup>3</sup>/h es el volumen de pérdidas.

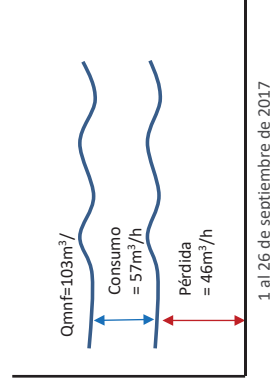


Figura 4.26 Relación entre el  $Q_{\text{mnf}}$  y el volumen de pérdidas

La presión de suministro en AZA No.3 fluctúa durante todo el día, y la presión es más alta en la noche. Por lo tanto, al convertir el volumen de pérdidas obtenido anteriormente en valor promedio diario, habría que corregirlo considerando las fluctuaciones de presión.

La siguiente Figura muestra la presión en el punto de entrada de tubería de distribución en AZA No.3 dividida en 4 horarios. El promedio en el horario de 0:00 a 6:00 es de 44.24mAq y el promedio diario es de 34.28mAq, por lo que según la siguiente Tabla de conversión, se calcula el promedio diario del volumen de pérdidas es de aproximadamente 40.3m<sup>3</sup>/h.

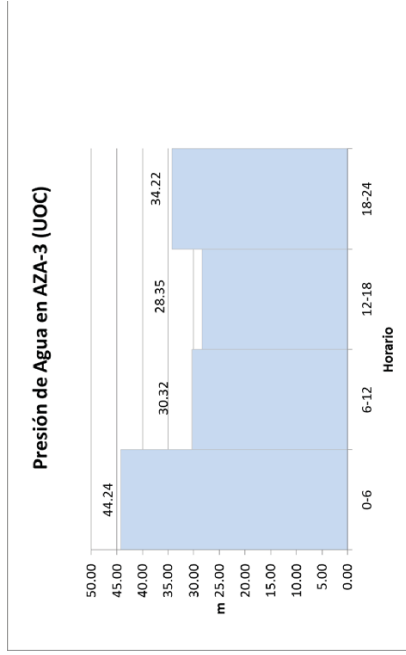


Figura 4.27 Cambios en la presión de distribución en AZA No.3

Tabla 4.22 Tabla de conversión del volumen de pérdidas por fluctuaciones de presión

Items	Horario				Promedio
	0:00-6:00	6:00-12:00	12:00-18:00	18:00-24:00	
Presión (m)	44.24	30.32	28.35	34.22	34.28
Proporción (P <sub>1</sub> /P <sub>0</sub> )	1.00	0.685	0.641	0.773	
(P <sub>1</sub> /P <sub>0</sub> ) <sup>0.5</sup>	1.00	0.828	0.801	0.879	
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	46.00	38.09	36.85	40.43	40.34

Q<sub>1</sub> = (P<sub>1</sub>/P<sub>0</sub>)<sup>0.5</sup> x Q<sub>0</sub>

Q<sub>0</sub>: Caudal en franja de tiempo base

P<sub>0</sub>: Presión de agua en franja de tiempo base

P<sub>1</sub>/P<sub>0</sub>: Relación frente a la presión de agua en franja de tiempo base

En estos cálculos, se aplica la fórmula de conversión de presión suponiendo que el volumen de pérdidas son fugas desde la tubería. En esta fórmula, es necesario establecer el coeficiente según la forma de orificio del lugar de la fuga, en este caso se aplica 0.5 que es el coeficiente de descarga en orificios circulares.

Por otro lado, existen diversos tipos de formas de orificio de fugas, y el valor del coeficiente a establecer varía según el material del tubo (metal o plástico). Empíricamente, se sugieren los siguientes valores. Se puede adoptar estas ideas.

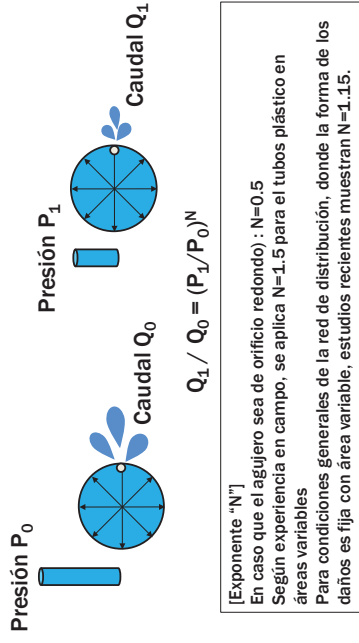


Figura 4.28 Relación entre la fuga y la presión

#### 4.8 Medición directa del volumen de pérdidas ( $Q_{directo}$ ) en los subsectores

Se puede medir directamente el volumen de un estado sin consumo de agua seleccionando un horario en las altas horas de la noche, cerrando todos los medidores del subsector y midiendo el caudal de entrada. El volumen medido de esta manera consiste en las fugas y el uso ilegal. Si se logra identificar a los usuarios ilegales después de la medición y suspender el suministro, se puede conocer cuantitativamente el volumen de fugas reales y el volumen de uso ilegal que se generaba en el subsector.

##### Método de medición

El volumen que entra a los subsectores es muy pequeño en comparación con el volumen medido en la UOC ubicada en la entrada al sector. Para medir con alta precisión el caudal menor al rango medible del caudalímetro de UOC, es necesario instalar un caudalímetro capaz de medir caudales pequeños y caudales instantáneos, junto con el tubo de bypass.

Los caudales que entran varían dependiendo de la dimensión del subsector, el número de conexiones existentes, las actividades comerciales de los usuarios, etc. Asimismo, como no se puede ignorar las pérdidas de carga del tubo de bypass del medidor instalado temporalmente, el flujo crítico medible depende de la presión de suministro. Por consiguiente, habría que escoger uno de 2 métodos que sea más adecuado según el caudal de entrada previsto y el número de conexiones.

[Caso de caudales pequeños]

Aplicación apta para: Unas 30 conexiones o menos, o caudal de entrada de 0.06 - 2.5m<sup>3</sup>/h

- Utilizar la caja del medidor existente como punto de conexión provisional del tubo de bypass.
- Para el tubo de bypass, utilizar una manguera de vinilo resistente a la presión o un tubo de PVC de diámetro 25mm.
- Para el caudalímetro, utilizar un medidor de prueba de 20mm o un medidor electrónico equivalente que indique el caudal instantáneo.

[Caso de caudales grandes]

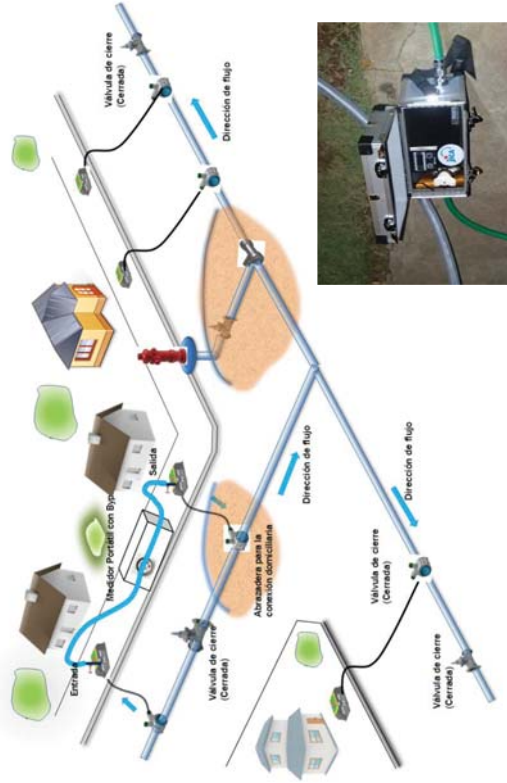
Aplicación apta para: Unas 150 conexiones o menos, o caudal de entrada de 2m<sup>3</sup>/h o mayor

- Instalar un tubo de unión en T antes y después de la válvula de cierre de la tubería de distribución e instalar un tubo de bypass de diámetro 50mm.
- En la salida de la parte no enterrada, dejar unos 30cm de tubo de acero y codo 90° (rosca).
- Para el tubo de bypass en la parte no enterrada, utilizar una manguera de vinilo resistente a la presión para uso de bomberos de diámetro 50mm.
- Para el caudalímetro, utilizar un medidor electromagnético de 50mm o un medidor tipo turbina que indique el caudal instantáneo.

A continuación, se muestra la comparación de las especificaciones básicas de los medidores utilizables para el estudio y las imágenes ilustrativas de 2 métodos de medición.

**Tabla 4.23 Características de los medidores utilizados para la medición directa**

Nombre de medidor	Q4000	TR-IV (ESD20R)	EDS13Q
Fabricante	Honeywell	Aichitokei	Aichitokei
Diámetro	50mm	20mm	13mm
Método de medición	Electromagnético	Tipo turbina tangencial	Tipo turbina tangencial
$Q_4$	50 m <sup>3</sup> /h	5.0 m <sup>3</sup> /h	3.13 m <sup>3</sup> /h
$Q_3$	40 m <sup>3</sup> /h	4.0 m <sup>3</sup> /h	2.5 m <sup>3</sup> /h
$Q_2$	0.16 m <sup>3</sup> /h	0.101 m <sup>3</sup> /h	0.04 m <sup>3</sup> /h
$Q_1$	0.10 m <sup>3</sup> /h	0.04 m <sup>3</sup> /h	0.025 m <sup>3</sup> /h
R= $Q_3$ / $Q_4$	400	100	100
Salida de pulso	1 L/P	No hay	0.017 L/P
Fotos			



TR-IV 20mm (Aichito kei)

Figura 4.29 Ejemplo del sistema de medición directa (caso de caudales pequeños)



Medidor casero combinando 2 caudalímetros

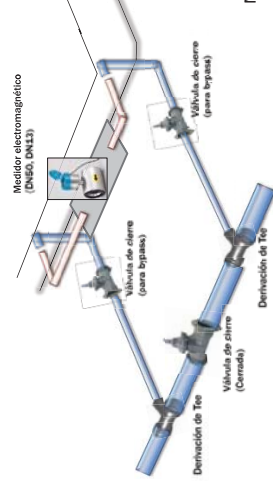


Figura 4.30 Ejemplo del sistema de medición directa (caso de caudales grandes)

**Capítulo 5**  
**Control de presión**



## Capítulo 5 Control de presión

### 5.1 Definición de presión

#### 5.1.1 Cómo se expresa la presión de agua

##### Acerca del Sistema

Existen varias expresiones de unidades de fuerza. Además de las unidades del “Sistema Internacional de Unidades (SI)” que son normas internacionales, existen otras expresiones como el Sistema Técnico de Unidades.

Tabla 5.1 Unidades relacionadas a la presión

Unidad	Símbolo	Conversión	Significado
Sistema Internacional de Unidades (SI)			
Masa	kg		
Newton	N	1N = 1kg·1m/s <sup>2</sup>	La fuerza necesaria para que un cuerpo de 1 kg de masa adquiera una aceleración de 1m/s <sup>2</sup>
Pascal	Pa	1Pa = 1N/m <sup>2</sup>	La fuerza (N) ejercida por unidad de superficie (m <sup>2</sup> )
Megapascal	MPa	1MPa = 10 <sup>6</sup> Pa	
Unidades que no pertenecen al SI			
Bar	bar	1bar = 10 <sup>5</sup> Pa	Presión
Atmósfera	atm	1atm = 101.325MPa	Presión
Sistema Técnico de Unidades			
Kilogramo-fuerza	kgf	1kgf = 9.8N	La fuerza de gravedad ejercida sobre una masa de 1 kg por la gravedad estándar en la superficie terrestre (9.8m/s <sup>2</sup> )
Kilogramo-fuerza por metro cuadrado	kgf/m <sup>2</sup>	1kgf/m <sup>2</sup> = 9.8Pa	La fuerza ejercida por unidad de superficie (kgf)
Kilogramo-fuerza por centímetro cuadrado	kgf/cm <sup>2</sup>	1kgf/cm <sup>2</sup> = 98,067Pa	La fuerza ejercida por unidad de superficie (kgf)
Libra por pulgada cuadrada	psi	1psi = 9.8lb/in <sup>2</sup>	La fuerza ejercida por unidad de superficie (lb)

Cuando expresamos en Newton, debemos diferenciar los términos de “masa” y “gravedad”.

Cuando expresamos “Mi computadora pesa 3kg.”, lo correcto es decir “3kg de masa”.

Cuando levantamos una computadora de 3kg de masa, lógicamente se siente el peso por la fuerza de gravedad ejercida. Esto se debe a la fuerza con que la Tierrajala la computadora. Esta fuerza quejala se llama peso, es decir, la fuerza de gravedad, y se expresa en la unidad llamada Newton.

Cuando se convierte el peso en Newton (N), se multiplica la masa (kg) por la gravedad estándar en la superficie terrestre (9.8m/s<sup>2</sup>).

$$\text{Peso (N)} = \text{Masa (kg)} \times 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

La gravedad estándar en la superficie terrestre es de 9.8 m/s<sup>2</sup>, pero en la superficie de lunar, es de unos 1.6 m/s<sup>2</sup>.

Por ejemplo, el peso de un cuerpo de 1kg de masa se puede expresar como

$$1 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 = 9.8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 9.8 \text{ N}$$

##### Comprensión de la presión

La presión es la fuerza ejercida perpendicularmente sobre la unidad de superficie.

La presión ejercida por el objeto colocado en la mesa se obtiene dividiendo la “fuerza ejercida” entre la “superficie que la recibe”.

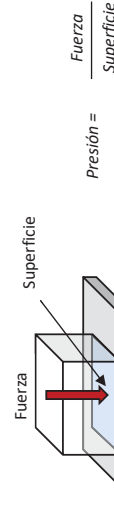
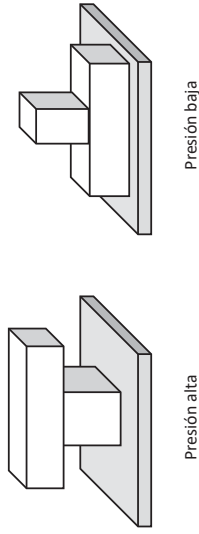


Figura 5.1 Significado de presión

Por ejemplo, aunque los siguientes objetos tengan la misma masa, si la superficie que la recibe es diferente, la presión también es diferente.



**Figura 5.2** Diferencia entre la presión alta y la baja

Existe el Sistema Internacional de Unidades (SI) para estandarizar las unidades a nivel internacional, no obstante, para expresar la presión, todavía se utiliza ampliamente el Sistema Técnico de Unidades. Además, en el campo de agua y saneamiento, algunas veces la presión se expresa en metro de columna de agua (mH<sub>2</sub>O).

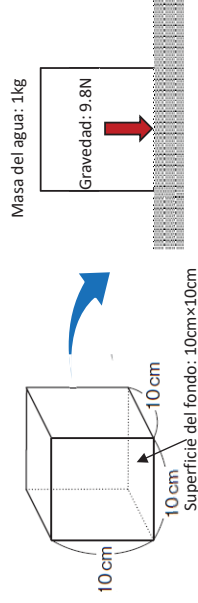
La siguiente Tabla de conversión muestra las relaciones entre las unidades.

**Tabla 5.2** Tabla de conversión de presión

	MPa	kgf/cm <sup>2</sup>	bar	atm	psi	mH <sub>2</sub> O
MPa	1	10.197	10	9.869	145.03	101.974
kgf/cm <sup>2</sup>	0.0981	1	0.9807	0.9678	14.223	10
bar	0.1	1.0197	1	0.9869	14.503	10.197
atm	0.10132	1.0332	1.0133	1	14.7	10.332
psi	0.06894	0.0703	0.0689	0.068	1	0.703

[Un ejemplo de la Tabla de conversión]

Se llena de agua el siguiente objeto rectangular.



**Figura 5.3** Ejemplo del cálculo de presión

Superficie del fondo del envase =  $0.1\text{m} \times 0.1\text{m} = 0.01\text{ m}^2$

Volumen del envase =  $0.1\text{m} \times 0.1\text{m} \times 0.1\text{m} = 0.001\text{m}^3$

Dado que la masa de  $1\text{m}^3$  de volumen de agua es de  $1,000\text{kg}$  (1 tonelada), la masa del agua de la Figura anterior es

$1,000\text{ kg} \times 0.001\text{ m}^3 = 1\text{ kg}$ .

Por tanto, la gravedad sobre esta agua puede expresarse como

$1\text{ kg} \times 9.8\text{ m/s}^2 = 9.8\text{ N}$ .

La presión generada en el fondo es  $9.8\text{ N} / 0.01\text{m}^2 = 980\text{ N/m}^2 = 980\text{ Pa}$

Es decir, cuando la profundidad del agua es de 10cm, la presión de agua es 980 Pa.

En el campo de agua y saneamiento, cuando se utiliza frecuentemente la presión de suministro de 10m, usualmente se convierte como la siguiente.

$98,000\text{ Pa} \rightarrow 0.0098\text{ MPa} \approx 0.01\text{ MPa}$

### Comprensión del cabezal de presión

La presión de agua en una posición de la tubería, expresada en metro de columna de agua, se llama cabezal de presión.

Por ejemplo, ¿Cuánto es el cabezal de presión, cuando la presión de la siguiente tubería es de 1 MPa (10.2 kgf/cm<sup>2</sup>)?

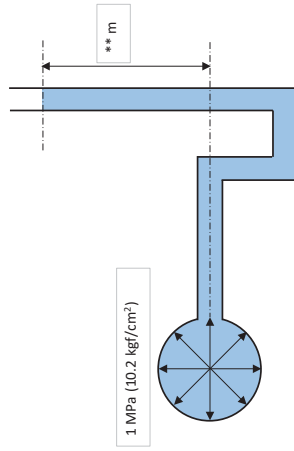
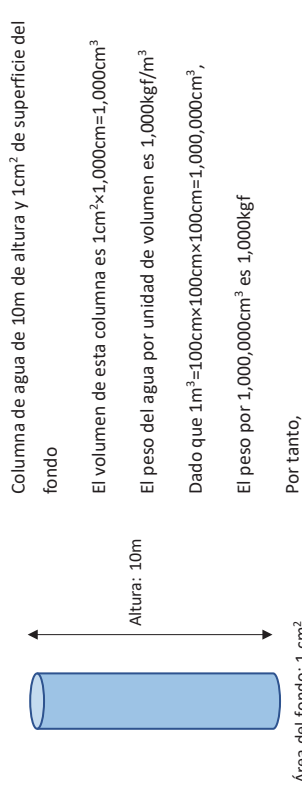


Figura 5.4 Cálculo de cabezal de presión

Esto se puede calcular fácilmente suponiendo la siguiente columna de agua.



El peso por 1,000cm<sup>3</sup> de esta columna de agua es 1kgf.

Esta columna de agua tiene 1cm<sup>2</sup> de superficie del fondo, por tanto, la presión ejercida sobre el fondo es de 1kgf/cm<sup>2</sup>. Al convertir esto en metro de columna de agua, se puede expresar como 10mH<sub>2</sub>O.

Es conveniente tener en mente que una presión de agua de 1 kg equivale a 10m en cabezal.

### 5.1.2 Tipos de presión

#### Presión estática y presión dinámica

La presión se clasifica en presión estática y presión dinámica.

El agua dentro de un envase o tubo está empujando la pared lateral y el fondo del envase. La presión ejercida en este momento es la presión de agua, y la presión estática puede entenderse examinando la siguiente Figura.

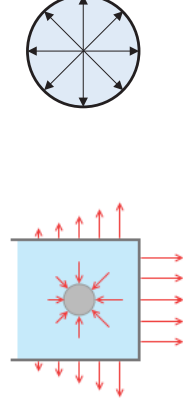


Figura 5.5 Imagen de la presión de agua ejercida

Como se observa anteriormente, la presión de agua cuando se encuentra en reposo dentro del tubo se llama presión estática.

Por otra parte, cuando hay flujo de agua, se generan pérdidas de presión debido a la fricción en el interior del tubo, y normalmente se produce una presión más baja que la estática. Esta presión se llama presión dinámica.

#### Tipos de presión

Existen 3 tipos de presión según el enfoque del punto de referencia: presión absoluta, presión manométrica y presión diferencial.

[Presión absoluta]

Es una expresión de presión cuando la presión se mide en relación a un vacío perfecto. Generalmente se utiliza la abreviación abs después del símbolo de la unidad.

[Presión manométrica]



Es una expresión de presión cuando se mide con respecto a la presión atmosférica. Generalmente se utiliza la abreviación G después del símbolo de la unidad. Cuando la presión manométrica es negativa, es decir, más baja que la presión atmosférica, se llama presión de vacío.

La presión que manejamos en el campo de agua y saneamiento usualmente se refiere a la presión manométrica. El manómetro que permite medir la presión manométrica positiva y la negativa se llama manómetro compuesto y suele instalarse en los pozos o la salida de la bomba.

[Presión diferencial]

Es una expresión de presión cuando la presión se mide en relación a cualquier presión que no sea la presión atmosférica. Se utiliza para expresar la diferencia de nivel de agua entre 2 tanques de distribución, diferencia de presión antes y después de la válvula, etc.

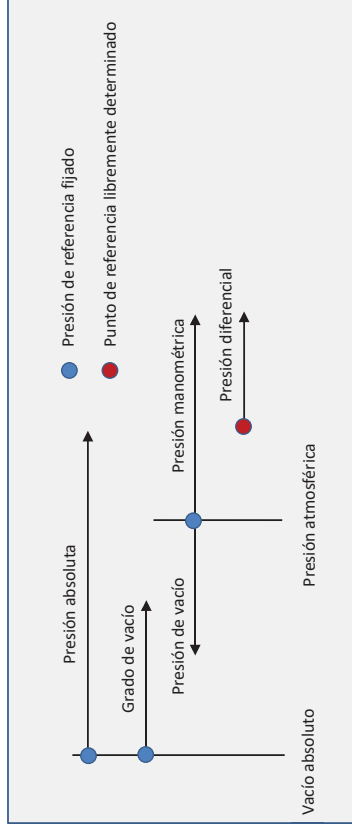
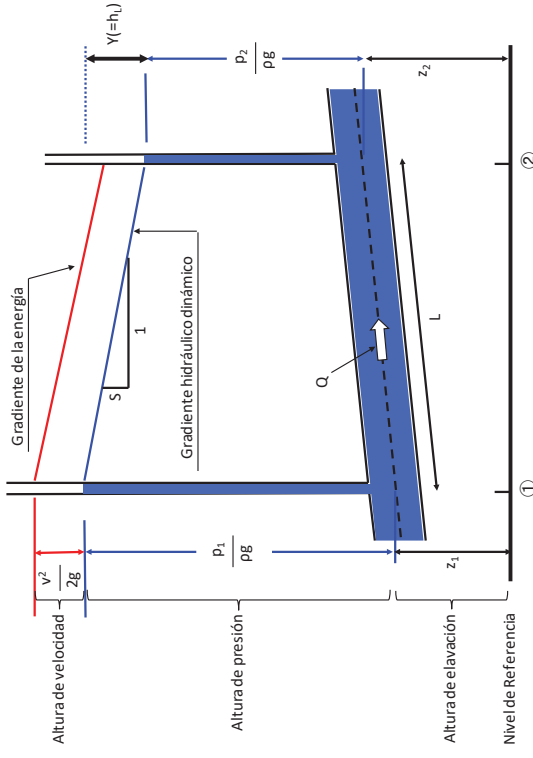


Figura 5.6 Tipos de presión

### 5.1.3 Comprensión de la presión diferencial

El cabezal (cabezal hidráulico (del inglés head), carga hidráulica, altura piezométrica, o nivel piezométrico) es la energía que posee el agua medida como una elevación de columna de agua. También se puede decir que es la energía por unidad de peso del agua.

La energía de un fluido consta de tres componentes: energía de presión, energía cinética y energía potencial. Estas energías medidas como alturas se llaman cabezal de presión, cabezal de velocidad y cabezal de elevación, respectivamente. Además de estas, existe cabezal de pérdidas de diferentes tipos que representa la energía que se pierde por fricción, en las curvas, en la entrada y salida del tubo (proporcional al cabezal de velocidad). La suma de todos estos cabezales se llama cabezal total.



- v : Velocidad (m/s)
- Q : Caudal ( $m^3/s$ )
- p : Peso Específico de Agua ( $1 \cdot 10^6 g/m^3$ )
- D : Diámetro de Tubo (m)
- g : Factor de Gravedad ( $9.8 m/s^2$ )
- L : Longitud (m)
- p : Presión ( $N/m^2$ )
- z : Elevación (m)

Figura 5.7 Relación entre el flujo de agua y la energía

Cuando fluye el agua en una tubería, se pierde la energía por fricción con la pared. Esta energía perdida se llama cabezal de pérdidas, representada como  $Y (=h_f)$  en la Figura anterior.

### Teorema de Bernoulli

Tomando como ejemplo la siguiente Figura, si se omite el cabezal de pérdidas ( $\Delta h$ ) generado por el flujo del agua, la suma del cabezal de velocidad, cabezal de presión, cabezal de elevación en una línea de flujo es constante.

Es decir, la suma de la energía en el punto A y el punto B es igual.

#### Teorema de Bernoulli

$$Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} \quad (\text{Energía en el punto A}) \quad (\text{Energía en el punto B})$$

El caudalímetro que utiliza este teorema se llama medidor Venturi y se describe como lo siguiente.

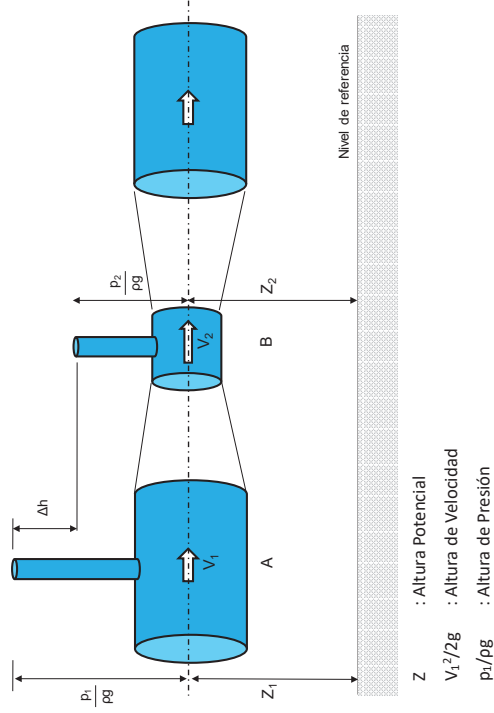


Figura 5.8 Descripción general del tubo de Venturi

En el punto A y en el punto B, la sección del tubo es diferente. Si la sección es pequeña, lógicamente la velocidad del flujo es rápida y el cabezal de velocidad es mayor. Si el tubo es horizontal, como  $Z_1$  y  $Z_2$  es igual, se genera una diferencia entre  $p_1$  y  $p_2$  según el Principio de conservación de la energía de Bernoulli. Esta diferencia es la diferencia de cabezal de presión ( $\Delta h$ ), y la medición de este valor permite calcular fácilmente el caudal del interior del tubo.

$$Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g}$$

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g}$$

$$\frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_2}{\rho g} = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}$$

Cuando el caudal del interior del tubo es  $Q$  y la superficie de sección es  $A_1$  y  $A_2$  respectivamente, la fórmula anterior puede convertirse como lo siguiente.

$$\underbrace{\frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_2}{\rho g}}_{\Delta h \text{ Diferencia de altura hidraulica de presión}} = \frac{Q^2}{2g} \left( \frac{A_1^2 - A_2^2}{A_1^2 \times A_2^2} \right)$$

$$Q = \frac{A_1 \times A_2}{\sqrt{A_1^2 - A_2^2}} \sqrt{2g\Delta h}$$

Lo anterior indica que se puede calcular el caudal del interior del tubo si se sabe de antemano la superficie de sección del tubo, a través de la medición de la diferencia de cabezal de presión ( $\Delta h$ ) con un manómetro.

## 5.2 Regulación de presión en las redes de tuberías de distribución

### 5.2.1 Predeterminación de una adecuada presión de suministro

Para distribuir el agua a los usuarios sin mayores problemas, es necesario controlar la presión adecuada y la distribución del volumen de agua en la medida de lo posible.

La regulación de la distribución se refiere a la planificación de la instalación de tuberías de distribución para que toda el área de suministro sea abastecida con una presión casi uniforme y a la manipulación de válvulas y otros instrumentos.

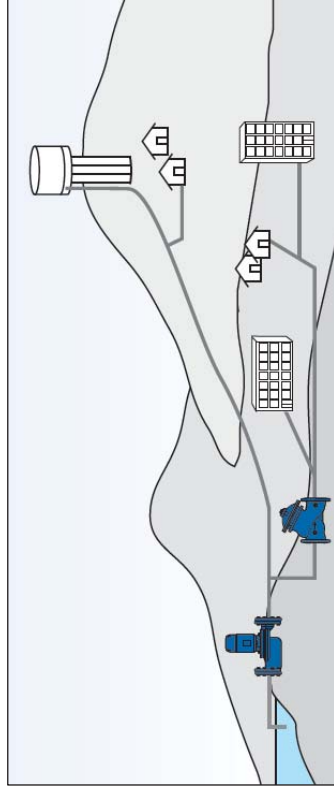


Figura 5.9 Descripción general del control de presión

Lo más idóneo es que se mantenga un cabezal de unos 15m (0.15MPa) - 20m (0.2MPa) como presión dinámica mínima de tuberías de distribución. Cuando hay excesiva presión, no sólo se incrementa el volumen de agua desperdiciada sino también se incrementa el volumen de fugas, por lo tanto, es deseable reducir la presión dinámica mínima hasta 40m (0.4MPa) como máxima.

### 5.2.2 Control mediante la regulación de las válvulas

Cuando se regula la presión o el volumen de agua mediante la apertura y el cierre de la válvula de cierre, siempre se debe comparar la presión y el caudal antes y después de la manipulación de la válvula de cierre y registrar los resultados de la regulación en forma clara.

Asimismo, la práctica de registrar el grado de apertura de las válvulas, etc. en el libro de válvulas es de mucha utilidad en el trabajo en terreno. Sobre todo, con respecto a las válvulas permanentemente cerradas y las válvulas en regulación del grado de apertura, es deseable dejarlas fácilmente identificables en el terreno para evitar que otros operarios las manipulen sin saber.

## 5.2.3 Tipos de métodos de reducción de presión

### Métodos de reducción de presión

En el sistema de agua potable, los métodos para reducir la presión de transmisión se dividen globalmente en 3 tipos.

- Método para liberar la presión mediante la cámara de interrupción de presión
- Método para generar el cabezal de pérdidas regulando el grado de apertura de la válvula
- Reducción de presión con válvula reductora de presión

Tabla 5.3 Métodos de regulación de presión

	Cámara de interrupción de presión	Válvula de control	Válvula reductora de presión (VRP)
Mecanismo	Instalar un tanque de agua con canal abierto en medio de la tubería para liberar la presión.	Regular el grado de apertura de la válvula de cierre y la válvula de mariposa para generar la presión diferencial y reducir la presión. Algunas insertan placas de orificio en la parte bridada.	Acciona utilizando como fuerza motriz la presión del interior del tubo y puede controlar libremente o hasta un determinado valor la presión de agua en el curso superior y la presión en el curso inferior.
Características	La presión en el curso superior no tiene limitaciones y permite controlar la presión con certeza. La presión se libera en la parte abierta del tanque, por tanto, no se puede realizar cambio de presión en el curso inferior.	Es efectivo en tuberías con permanente flujo de un caudal constante y es el método más fácil. Depende totalmente del volumen de la demanda.	Puede cambiar fácilmente la presión predeterminada, pero los equipos utilizables están condicionados por la diferencia de presión entre el curso superior/inferior, caudal, etc.
Mantenimiento	El costo de operación es bajo por no existir equipos mecánicos.	Vida útil igual que cualquier válvula ordinaria, no requiere un mantenimiento especial.	Un mantenimiento cada 2-3 años es indispensable, y fácilmente sufre averías por golpe de ariete, obstrucción con objetos extraños, etc.
Operación	Resiste cambios drásticos de presión como el golpe de ariete. Muchos se utilizan como tanque de almacenamiento de agua.	Una modificación de caudales o condiciones de presión predeterminados no permite reducir la presión necesaria.	El uso continuo en el rango de caudales pequeños genera pulsaciones, etc. Y puede causar averías del disco de la válvula. No se puede utilizar varias válvulas automáticas a distancias cortas.

### Válvula de control

[Válvula de mariposa]

La válvula más representativa para regular caudales y presión es la válvula de mariposa.

- Tiene buena capacidad de cierre y puede utilizarse como válvula de control.
- Tiene poca resistencia al flujo y poco impedimento al paso del agua.
- Tiene un par motor pequeño en la posición de apertura y cierre, y el disco de la válvula gira 90°.
- Es apropiada para la automatización. Para tuberías de diámetros grandes, se utiliza reemplazando a la válvula de cierre.

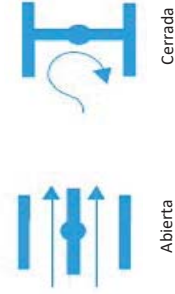


Figura 5.10 Descripción general de válvula de mariposa

[Válvula de globo]

Es una válvula de control utilizada ampliamente para tuberías de diámetros pequeños. El disco de la válvula tiene forma de un globo y el flujo del fluido dibuja una S.

- Tiene buena capacidad de cierre y puede utilizarse como válvula de control.
- Tiene mucha resistencia al flujo.
- Tiene un par motor grande en la posición de apertura y cierre, por lo que es apropiada para diámetros pequeños.

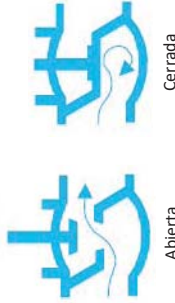


Figura 5.11 Descripción general de válvula de globo

[Válvula de cono]

La válvula de cono abre y cierra la vía del flujo girando el disco de la válvula, de forma de un tronco y tiene una vía de flujo de la misma forma de la tubería, dentro de la carcasa de la válvula.

Tiene pocas pérdidas de presión en la posición de apertura total, puede garantizar grandemente el caudal en la posición de apertura total y tiene excelentes características de caudal, por lo tanto, es adecuada para el control.

Asimismo, es efectiva para mitigar el golpe de ariete, por lo que se utiliza como válvula de salida de la bomba o válvula interruptora de emergencia, además, es efectiva para presiones altas mayores a 10kgf/cm<sup>2</sup> o cuando existe el problema de la cavitación.

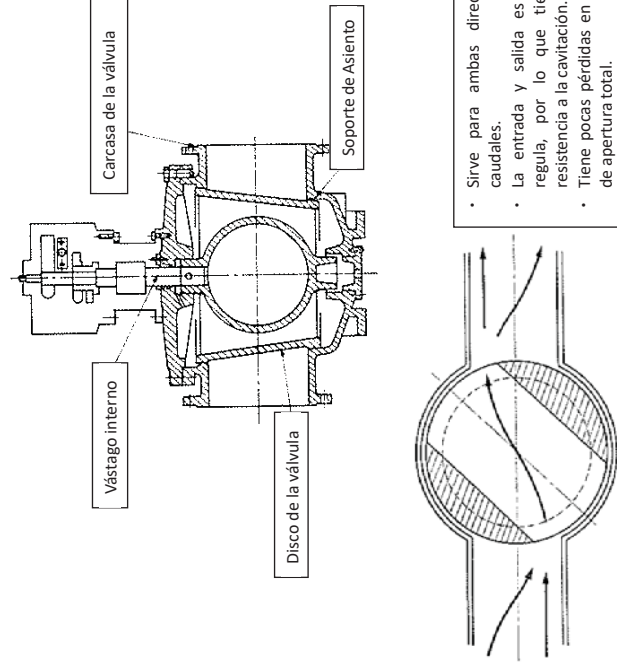


Figura 5.12 Descripción general de válvula de cono

### Válvula Reductora de Presión (VRP)

#### (1) Tipos de válvula reductora de presión

En las áreas donde existen grandes diferencias de altura entre el tanque de distribución y las redes de tuberías de distribución y se ejerce una presión extremadamente alta, es deseable instalar una válvula reductora de presión para regular la presión.

Como válvula reductora de presión, se utiliza ampliamente la válvula automática que usa el resorte o la presión del fluido como fuerza motriz, no sólo para control de presión sino también para control de nivel de agua.

Para el control, existen dos métodos.

#### [Tipo accionamiento directo]

Es un método para accionar el disco de la válvula equilibrando la fuerza del resorte instalado en la parte superior del disco de la válvula y la bomba de pistón o la bomba de diafragma.

#### [Tipo piloto]

Es un método para controlar el disco de la válvula percibiendo la presión del interior del tubo del curso superior en la válvula piloto anexo al disco de la válvula.

La válvula automática tipo piloto consiste de las siguientes partes.

- Carcasa de la válvula en forma de válvula de globo
- Válvula principal en forma de bomba de pistón o bomba de diafragma, y resorte
- Válvula piloto reductora de presión compuesta por bomba de diafragma, etc.
- Mecanismo de regulación de velocidad de apertura y cierre de la válvula principal
- Manómetro y colador

#### (2) Mecanismo básico

Aunque el diseño de la VRP varía según el fabricante, el funcionamiento más básico de una válvula es el siguiente: la válvula piloto detecta la Presión en el curso inferior (aguas abajo) de la válvula y regula el grado de apertura de la válvula principal para mantener un valor constante.

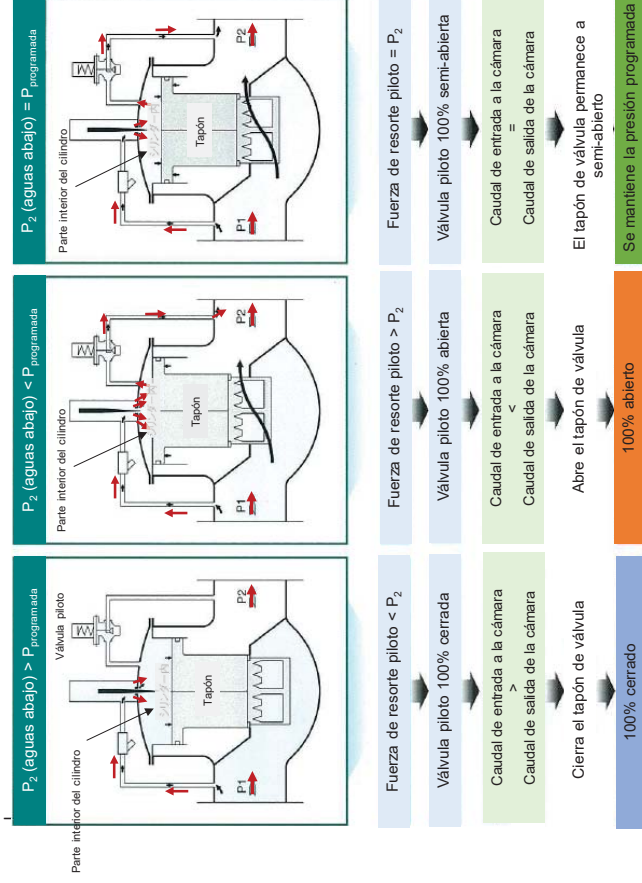


Figura 5.13 Mecanismo de funcionamiento de válvula reductora de presión

A continuación, se muestra el mecanismo básico de la VRP de Bermad, Modelo 720.

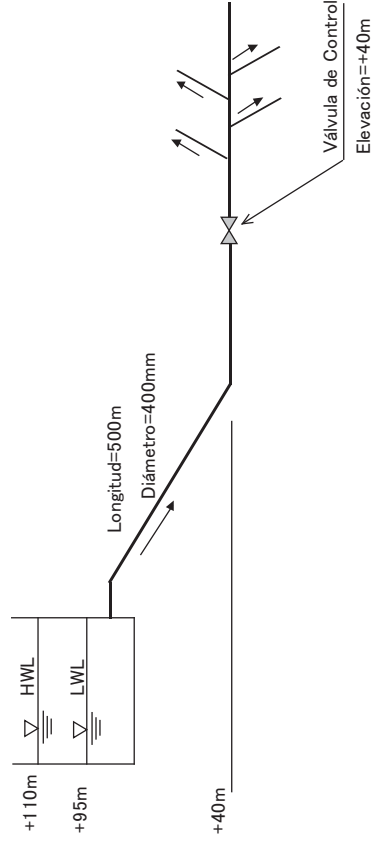
**Tabla 5.4 Mecanismo básico de VRP**

Mecanismo	Figura de referencia
<p>[Posición cerrada]</p> <p>La restricción [1] permite el flujo constante de la entrada de la válvula a la cámara superior de control [2].</p> <p>Si la presión se eleva por encima del valor predefinido, el piloto [3] permite la acumulación de presión en la cámara superior de control, lo cual hace que la válvula se cierre y así la presión de aguas abajo desciende a un nivel inferior al predefinido.</p>	
<p>[Posición de modulación]</p> <p>El piloto [3] percibe la presión de aguas abajo lo que controla la presión acumulada en la cámara superior de control [2].</p> <p>El tapón V-Port [4] aumenta la proporción entre el caudal y la carrera de la válvula, con lo cual se obtiene una regulación más suave, estable y precisa.</p>	
<p>[Posición abierta]</p> <p>Si la presión de aguas abajo es menor que el valor predefinido del piloto, el piloto libera la presión acumulada haciendo que la válvula principal se abra.</p>	

(3) Ejemplo de la selección de VRP

En la siguiente tubería donde la presión de distribución es demasiado alta porque el agua se distribuye desde el tanque de distribución ubicado en una loma, deseamos reducir la presión de aguas abajo instalando una válvula reductora de presión.

Cuando se regula la presión de aguas abajo a  $4\text{kgf/cm}^2$  durante el día y  $3.0\text{kgf/cm}^2$  durante la noche después instalar la válvula, se selecciona la forma y el diámetro de la válvula reductora de presión.



**Figura 5.14 Diagrama de relaciones de niveles de agua**

Las condiciones básicas de la red de tuberías son las siguientes.

- Caudal máximo de diseño ( $Q_{\text{max}}$ )  $360\text{m}^3/\text{h}$  ( $0.10\text{m}^3/\text{seg}$ )
- Caudal mínimo de diseño ( $Q_{\text{min}}$ )  $144\text{m}^3/\text{h}$  ( $0.04\text{m}^3/\text{seg}$ )
- Presión de aguas abajo de la válvula
  - Durante el día  $4.0\text{kgf/cm}^2$  ( $360\text{m}^3/\text{h} - 180\text{m}^3/\text{h}$ )
  - Durante la noche  $3.0\text{kgf/cm}^2$  ( $180\text{m}^3/\text{h} - 144\text{m}^3/\text{h}$ )
- Diámetro del tubo  $400\text{mm}$

- Distancia desde el tanque hasta la válvula 500m
- Nivel de agua del tanque HWL +110m  
LWL +95m
- Altura sobre el nivel del mar del punto de instalación de la válvula +40m
- Coeficiente de Rugosidad 130

[Paso 1]

De la velocidad límite del flujo, se determina el candidato de diámetro de la válvula (Dv).

Velocidad límite del flujo = 5m/seg (tubo de distribución normal)

Dado que el caudal máximo de diseño (Qmax) es 0.10m<sup>3</sup>/seg, el diámetro es

$$Dv \geq \sqrt{\frac{4 Q_{max}}{\pi V_{MAX}}} \\ \rightarrow Dv \geq 0.159$$

Por tanto, revisaremos el diámetro 150mm y el diámetro 200mm.

[Paso 2]

Se calcula la velocidad del flujo del caudal máximo de diseño (0.10m<sup>3</sup>/seg) y del caudal mínimo (0.04m<sup>3</sup>/seg).

**Tabla 5.5 Velocidad del flujo por diámetro**

Diámetro	150mm	200mm
Superficie interior del tubo (m <sup>2</sup> )	0.0177	0.0314
V max (m/seg)	5.65	3.18
V min (m/seg)	2.26	1.27

[Paso 3]

Se calcula el cabezal de pérdidas de la tubería (φ400).

Se calcula el gradiente hidráulico dinámico con la siguiente Fórmula de Hazen-Williams.

$$I = h_f/L = 10.666 \times C^{-1.85} \times D^{-4.87} \times Q^{1.85}$$

C=130

a. Caudal máximo (Q=0.10 m<sup>3</sup>/seg)

$$I = h_f/L = 10.666 \times 130^{-1.85} \times 0.4^{-4.87} \times 0.10^{1.85} \\ = 0.0016$$

Se supone que las pérdidas por los codos, etc. son pérdidas de la tubería equivalentes a un 10% de la longitud de la tubería.

$$h_{f (max)} = 500 \times 1.1 \times 0.0016 = 0.88 \text{ m H}_2\text{O}$$

b. Caudal mínimo (Q=0.04 m<sup>3</sup>/seg)

$$I = h_f/L = 10.666 \times 130^{-1.85} \times 0.4^{-4.87} \times 0.04^{1.85} \\ = 0.0003$$

$$h_{f (min)} = 500 \times 1.1 \times 0.0003 = 0.16 \text{ m H}_2\text{O}$$

[Paso 4]

Cálculo de presión de aguas arriba de la válvula reductora de presión

Se calcula la presión de aguas arriba ejercida sobre la válvula reductora de presión utilizando el nivel de agua del tanque de distribución, el caudal de diseño y el cabezal de pérdidas hasta la válvula reductora de presión.

a. Presión máxima

La presión de aguas arriba de la válvula reductora de presión es máxima (P<sub>1(max)</sub>) cuando el nivel de agua del tanque de distribución es HWL y el caudal es mínimo.

$$P_{1(max)} = 110 - 40 - 0.16 = 69.84 \text{ m (donde } Q=0.04 \text{ m}^3/\text{seg)}$$

b. Presión mínima

La presión de aguas arriba de la válvula reductora de presión es mínima (P<sub>1(min)</sub>) cuando el nivel de agua del tanque de distribución es LWL y el caudal es máximo.

$$P_{i(\min)} = 95 - 40 - 0.88 = 54.12 \text{ m (donde } Q=0.1 \text{ m}^3/\text{seg)}$$

[Paso 5]

Se calcula la presión mínima necesaria de aguas arriba para la presión de aguas abajo de 4kgf/cm<sup>2</sup> durante el día y 3.0kgf/cm<sup>2</sup> durante la noche, respectivamente.

Normalmente, para que la VRP funcione bien, es necesario que la presión de aguas arriba sea unos 0.3kgf/cm<sup>2</sup> más alta que la presión de aguas abajo.

Según el cálculo anterior, se supone que la presión de aguas arriba está dentro del rango de 5.4-6.9kgf/cm<sup>2</sup> y satisface las condiciones de funcionamiento de la válvula reductora de presión, por lo tanto, no hay problema.

[Paso 6]

Se calcula la presión diferencial ( $\Delta P$ ) ejercida sobre la VRP.

a. Presión diferencial máxima

La presión diferencial es máxima cuando el nivel de agua del tanque de distribución es HWL y el caudal es mínimo.

$$\Delta P_{(\max)} = P_{i(\max)} - P_{2i(\min)} = 69.84 - 30 = 39.84 \text{ m H}_2\text{O (donde } Q=0.04 \text{ m}^3/\text{seg}) \\ = 3.98 \text{ bar}$$

b. Presión diferencial mínima

La presión diferencial es mínima cuando el nivel de agua del tanque de distribución es LWL y el caudal es máximo.

$$\Delta P_{(\min)} = P_{1i(\min)} - P_{2i(\max)} = 54.12 - 40 = 14.12 \text{ m H}_2\text{O (donde } Q=0.10 \text{ m}^3/\text{seg}) \\ = 1.41 \text{ bar}$$

[Paso 7]

Se calcula el coeficiente de volumen.

En la selección de la válvula de control, el coeficiente de volumen que es una cifra propia de

cada válvula es un factor muy importante.

En caso de la válvula de Bernad, se utiliza el valor "Kv" como coeficiente de volumen y se expresa con la siguiente fórmula. Kv se utiliza principalmente en los países de habla alemana. En los EE.UU., se utiliza el valor "Cv" como coeficiente de volumen. Cv se expresa en Kilogramo-fuerza por metro cuadrado (sistema de m y kgf) y se establece la relación de  $Cv=1.167Kv$ .

$$Kv = Q \sqrt{\frac{1}{\Delta P}}$$

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/h)

$\Delta P$ : Presión diferencial (bar) generada antes y después de la válvula

$$Kv_{\max} = Q_{\max} \sqrt{\frac{1}{\Delta P_{\min}}} = 360 \times \sqrt{\frac{1}{1.41}} = 303$$

$$Kv_{\min} = Q_{\min} \sqrt{\frac{1}{\Delta P_{\max}}} = 144 \times \sqrt{\frac{1}{3.98}} = 72$$

Según la Tabla de coeficiente de volumen de Bernad, Serie 700, el diámetro de la válvula con una capacidad mayor a  $Kv_{\max}$  (=303) antes mencionado es el diámetro 150mm o mayor.

Tabla 5.6 Ejemplo del coeficiente de volumen de VRP

#### Flow Properties

	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500
700-ES Y-Pattern Flat Disc	54	57	60	65	145	215	385	610	905	1,520	N/A	2,250	N/A	4,070
K	1.4	3.0	7.8	15.2	7.5	8.3	5.1	6.7	7.5	5.5	N/A	7.9	N/A	5.9
Leq - m	2.8	7.5	25.3	60.8	37.3	51.7	38.1	96.3	138.4	126.8	N/A	253.6	N/A	246.3
700-ES Y-Pattern V-Port	46	48	51	55	123	183	336	519	769	1,292	N/A	2,027	N/A	3,460
K	1.9	4.3	10.8	21.2	10.4	11.4	7.0	9.3	10.4	7.6	N/A	9.8	N/A	8.2
Leq - m	3.8	10.6	34.9	84.9	51.8	71.4	52.7	133.0	191.7	175.5	N/A	312.4	N/A	340.8

[Paso 8]

De la relación de reducción de presión, se comprueba la existencia de la cavitación.

Presión de aguas arriba      Máxima 6.9kgf/cm<sup>2</sup>      Mínima 5.4kgf/cm<sup>2</sup>



Presión de aguas abajo Durante el día 4.0kgf/cm<sup>2</sup> Durante la noche 3.0kgf/cm<sup>2</sup>  
 Según el Diagrama de cavitación de Bermad, Serie 700, se puede comprobar que no entra en la zona de cavitación dadas las condiciones anteriores.

### Diagrama de cavitación

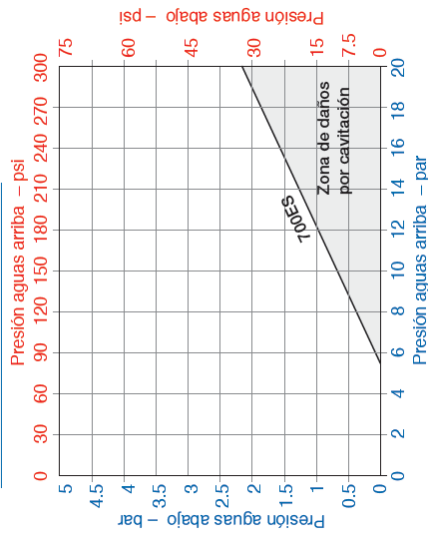


Figura 5.15 Diagrama de cavitación de válvula reductora de presión

[Paso 9]

Se selecciona un diámetro adecuado.

Caudal máximo de diseño ( $Q_{max}$ ) 360m<sup>3</sup>/h (0.10m<sup>3</sup>/seg)

Caudal mínimo de diseño ( $Q_{min}$ ) 144m<sup>3</sup>/h (0.04m<sup>3</sup>/seg)

Según la Tabla de caudales de Bermad, Serie 700, se puede comprobar que tanto la válvula de disco plano como la válvula de disco de Puerto de Venturi se encuentran en la zona de caudales de la válvula de diámetro 150mm.

### Flow Charts

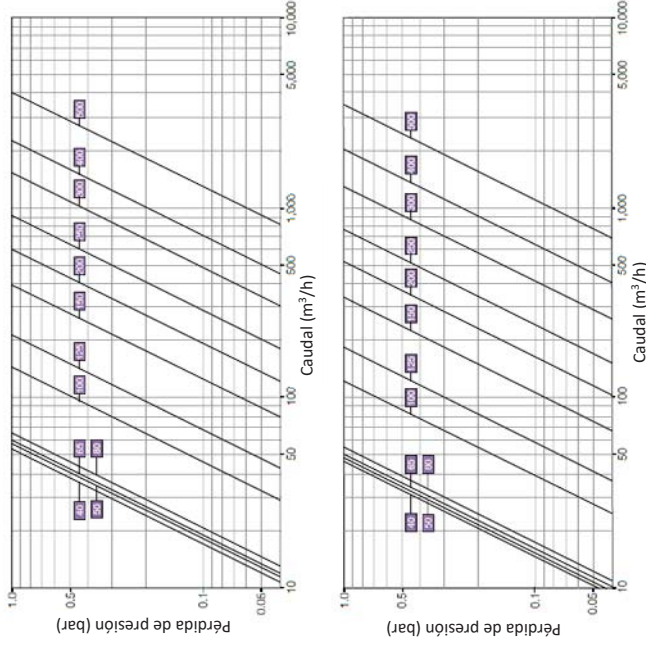


Figura 5.16 Diagrama de rangos de caudales de VRP

#### (4) Proceso general de selección

Para seleccionar la VRP, es importante analizar suficientemente las condiciones básicas como el diámetro, además, las condiciones de tuberías, de control, etc., luego seleccionar una que tenga características de control adecuadas al objetivo. A continuación, se muestra el diagrama de flujo de procesos.

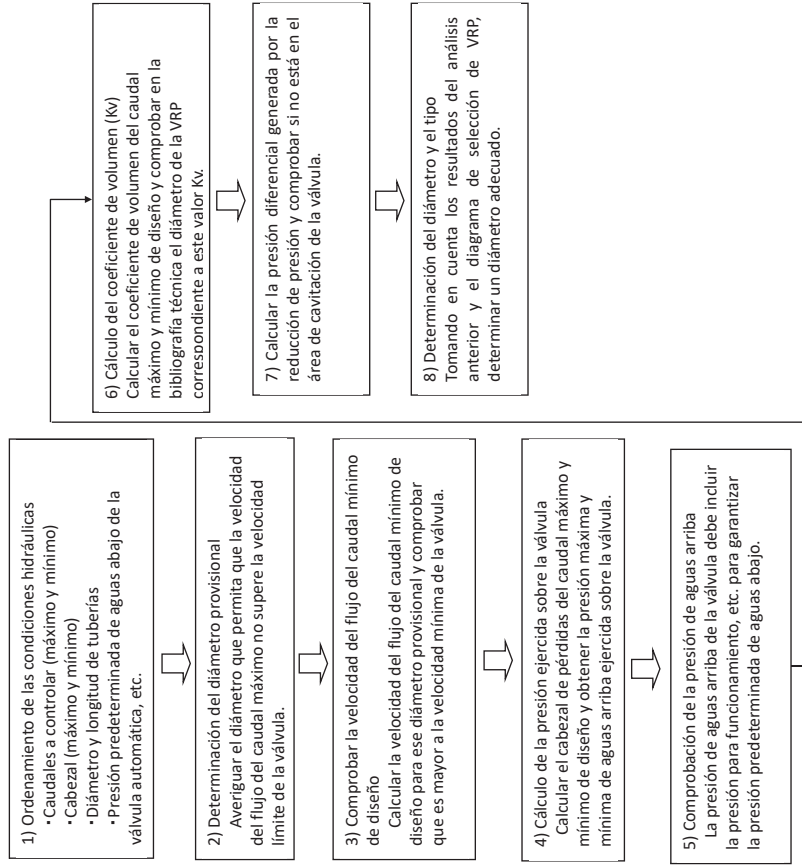


Figura 5.17 Flujo de selección de VRP

### 5.3 Comprensión de la cavitación

#### 5.3.1 ¿Qué es la cavitación?

Al bajar la presión del agua a cierta temperatura fija, finalmente comienza a hervir. Existe una cierta relación entre la temperatura del agua y la presión en el punto de ebullición (presión absoluta). Esta relación se llama presión de vapor saturado del agua en esa temperatura, y sus valores son los siguientes.

Tabla 5.7 Presión de vapor saturado del agua

Temperatura del agua (°C)	0	10	20	25	30	40
Presión de vapor saturado(mAq)	0.062	0.125	0.238	0.323	0.432	0.752



Flujo de agua

Cuando se utiliza una válvula de control con poca apertura en la tubería de una planta, se escuchan ruidos bulliciosos del flujo de agua en el interior y ocurre el fenómeno de vibraciones de la válvula y la tubería. Esto se debe al fenómeno de cavitación.

La cavitación se refiere al fenómeno de generación de burbujas conteniendo vapor y gases debido a la caída de presión en un punto del líquido que está fluyendo, como el agua. Al generar y colapsar estas burbujas, se produce una gran fuerza ejercida sobre la pared de la tubería y la parte de la válvula en contacto con el líquido, y causan daños.

¿Por qué se generan burbujas al caer la presión del agua?

Lo primero que viene a la mente es que debido a la naturaleza del agua que se desune rápidamente porque resiste a la compresión pero no a la tensión mecánica, posiblemente se forma un vacío si en el flujo hay un punto donde la presión manométrica es 0 (o inferior).

Segundo, el agua puede llegar a la ebullición y evaporación a temperatura ambiente, ya que la temperatura de ebullición del agua desciende cuando la presión cae (el agua hierve a 10°C bajo la

presión de una columna de agua de 0.125m).

Asimismo, existe la posibilidad de que las burbujas se producen debido al estado de saturación de aire disuelto que se haya llegado en el proceso de subir y bajar la temperatura del agua donde se expulsa el exceso de aire. Se habla de que sumando todo esto, se generan las burbujas de cavitación.

Las burbujas de cavitación producto de la caída de presión están destinadas a encogerse y desaparecerse al desplazarse nuevamente a un lugar de alta presión. Si las burbujas se encogen rápidamente, se produce una especie de presión de impacto.

El valor máximo instantáneo de esta presión de impacto alcanza a cientos o miles de atm, según alguien que lo ha calculado teóricamente. Se supone que esta presión de impacto causa daños a la válvula o la pared interior de la tubería cuando estos se utilizan en estado de cavitación.

Por ejemplo, supongamos el siguiente caso donde el diámetro de repente se pone más pequeño en la parte de la boquilla, y cuando aumenta la velocidad del flujo, la presión de esa parte cae hasta la presión de vapor saturado.

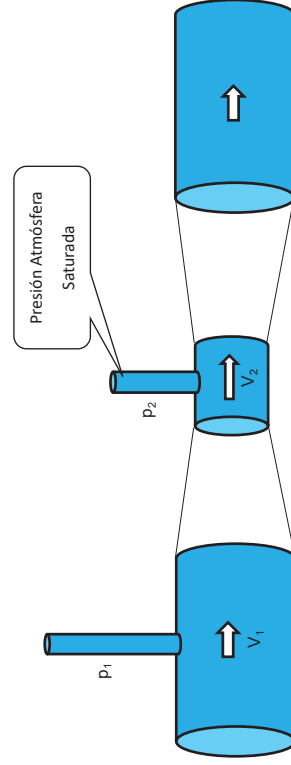


Figura 5.18 Flujo de la parte de la boquilla

#### Situación hipotética

Temperatura de agua: 15°C

P1 : Presión del punto de arriba (1 kgf/cm2 → 2,0332 kgf/cm2 como presión absoluta)

P2 : Presión de vapor de agua saturada en 15°C (0,0174 kgf/cm2 como presión absoluta)

V1 : Velocidad de flujo = 1 m/seg.

V2 : Velocidad de flujo en el punto de boquilla

γ: Peso por unidad de volumen del agua (=ρ×g)

ρ: Densidad del agua (1.000kgf/m³)

g: Aceleración gravitacional (9.8 m/s²)

Nota:

$$\gamma = 1,000 \text{ kgf/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 9,800 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 \cdot \text{m}^3 = 9,800 \text{ N/m}^3$$

Cuando la presión p es de 1kgf/cm², p = 10⁴ kgf/m² = 9,8 \* 10⁴ N./m², por tanto,

$$p/\gamma = 9,8 * 10^4 \text{ N/m}^2 \div 9,800 \text{ N/m}^3 = 10 \text{ m} \rightarrow \text{Altura del cabezal}$$

La suma de las energías en 2 puntos es igual debido al Teorema de Bernoulli, por tanto,

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

Dada la situación hipotética, convirtiendo en cabezal como presión absoluta,

$$\frac{p_1}{\gamma} = 20.332 \text{ (m)} \quad \frac{v_1^2}{2g} = \frac{1}{2g} = 0.051 \text{ (m)}$$

$$\frac{p_2}{\gamma} = 0.174 \text{ (m)}$$

Por tanto,

$$\frac{v_2^2}{2g} = \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = 20.332 - 0.174 + 0.051 = 20.209$$

Se obtiene  $v_2 = 19,9 \text{ m/seg}$

Es decir, el cálculo indica claramente que la presión de la parte de la boquilla cae hasta la presión de vapor saturado si la velocidad del flujo de la parte de la boquilla alcanza a unos 20m/seg. Estas velocidades del flujo fácilmente se producen cuando hay poca apertura de la válvula, manifestándose en áreas reducidas donde cae la presión.

En síntesis, cuando la presión del agua cae hasta la presión de vapor saturado de esa temperatura, en esa parte el agua hierve y se convierte en burbujas de vapor. Este fenómeno se llama cavitación.

Generalmente, las burbujas de vapor generadas en el flujo de agua por la cavitación fluyen hacia el curso inferior y colapsan instantáneamente (aproximadamente 1/1000 segundo) a medida que va recuperándose la presión de agua de sus alrededores. En ese momento, se produce una fuerza de impacto anormal (200-500atm).

El colapso de un sinnúmero de burbujas de aire genera ruidos y vibraciones, equivalentes a los golpes fuertes con puntas de un sinnúmero de cuchillos. Esa parte golpeada sufre la fatiga por la tensión mecánica repetitiva y se daña.

Cuando se genera la cavitación dentro de la válvula, los ruidos y las vibraciones se propagan en el alrededor del lugar instalado, y las vibraciones pueden causar el deterioro de tensión de rotura en las estructuras aledañas.

Además, el prolongado fenómeno de la cavitación puede causar grandes daños en la carcasa de la válvula y el cuerpo de la tubería del curso inferior, por lo tanto, al instalar una válvula, se requiere un estudio prudente para que no se produzca la cavitación.

### 5.3.2 Coeficiente de cavitación

Para expresar la existencia de cavitación generada, generalmente se utiliza el índice de cavitación ( $\sigma$ ).

Para uso práctico del cálculo de  $\sigma$ , se utilizan 2 fórmulas como las siguientes.

$$\sigma = \frac{H_2 + 10}{H_1 - H_2} \dots \textcircled{1}$$

$$\sigma = \frac{H_2 + 10}{H_1 - H_2 + \frac{v^2}{2g}} \dots \textcircled{2}$$

$H_1$  : Presión en el curso aguas arriba de la válvula (m H<sub>2</sub>O)

$H_2$  : Presión en el curso aguas abajo de la válvula (m H<sub>2</sub>O)

Usualmente se utiliza la fórmula  $\textcircled{1}$ , pero cuando la velocidad promedio del flujo es alta o cuando la altura sobre el nivel del mar de la ubicación de la válvula instalada es alta, se utiliza la fórmula  $\textcircled{2}$ , ya que no puede ignorar el valor de " $v^2/2g$ " con respecto a " $\sigma$ ".

Las fórmulas anteriores muestran que un pequeño coeficiente de cavitación significa una gran diferencia de presión antes y después de la válvula, además, poca presión en el curso inferior. Las válvulas que se utilizan en estos lugares, por ejemplo las que se utilizan como válvula de entrada al tanque de distribución ubicada en los extremos de la tubería de transmisión, tienen mayores exigencias para la cavitación. Es decir, se debe seleccionar una válvula que tenga características inferiores al coeficiente de cavitación calculado.

### 5.3.3 Coeficiente de cavitación crítico

El coeficiente de cavitación ( $\sigma$ ) mencionado anteriormente es un coeficiente obtenido de la diferencia de presión antes y después de la válvula (volumen de caída de presión) y es manejado como una condición para seleccionar la válvula.

El fenómeno de la cavitación se manifiesta en diferentes formas dependiendo del tipo, estructura o forma de válvula. El coeficiente de cavitación de cada válvula obtenido en el experimento se llama coeficiente de cavitación crítico de la válvula y generalmente se expresa como " $\sigma_c$ ", diferenciando del coeficiente " $\sigma$ " obtenido del cálculo de condiciones predeterminadas.

Para seleccionar una válvula que no produzca la cavitación, es necesario que el coeficiente de cavitación crítico ( $\sigma_c$ ) de la válvula sea inferior al coeficiente del cálculo ( $\sigma$ ).

$$\sigma > \sigma_c$$

[Ejemplo1]

Cuando se utiliza la válvula de mariposa y se establece el grado de apertura de un 20%, ¿Es posible reducir la presión de la válvula en el curso superior de  $H_1:20\text{m}$  a  $H_2:10\text{m}$  en el curso inferior?

En este caso, el coeficiente de cavitación obtenido del cálculo ( $\sigma$ ) es

$$\sigma = \frac{H_2 + 10}{H_1 - H_2} = \frac{10 + 10}{20 - 10} = 2.0$$

La relación entre el grado de apertura y el coeficiente de cavitación crítico de las válvulas de la siguiente Figura indica " $\sigma_c = 2.92$ " cuando es una válvula de mariposa con 20% de grado de apertura.

Por consiguiente, en esta condición, se produce la cavitación.

Por otro lado, la Figura muestra " $\sigma_c = 1.8$ " cuando es una válvula de cono con 20% de grado de apertura, por tanto, no se produce la cavitación.

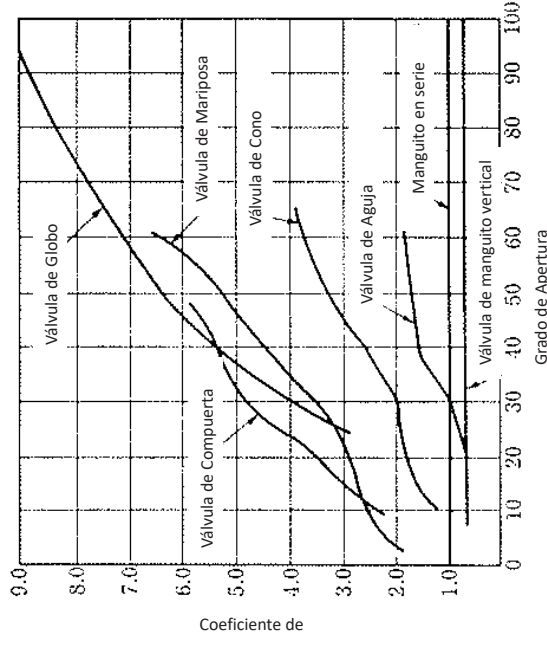


Figura 5.19 Grado de apertura y coeficiente de cavitación de las válvulas

### 5.3.4 Coeficiente de cavitación de uso práctico

El coeficiente de cavitación anterior muestra el ratio inicial de la cavitación, pero usualmente en esta fase no ocurren ruidos o vibraciones considerables. Por lo tanto, se puede afirmar que no se produce ninguna cavitación cuando se satisfacen las condiciones mencionadas.

Usualmente, los fabricantes de válvulas hacen público el coeficiente de cavitación de uso práctico ( $\sigma_c$ ) como valor que produce la cavitación nociva en sus válvulas. Por esta razón, usualmente se utiliza este valor para analizar la existencia del riesgo de cavitación.

### 5.4 Procedimientos de selección de válvulas de control

La selección de las válvulas de control se realiza según los siguientes procedimientos. Específicamente, es el siguiente flujo.

- 1) Suponer el caudal máximo y el diámetro que debe controlar la válvula y calcular la velocidad del flujo.
- 2) Comprobar si ese valor es inferior a la velocidad límite del flujo de la válvula a utilizar.
- 3) Calcular los cabezales de pérdidas y la presión máxima/mínima en el curso superior/inferior de la válvula cuando el caudal es máximo/mínimo.
- 4) Calcular el coeficiente de volumen máximo/mínimo requerido de la válvula.
- 5) De la Figura de características de caudal, leer el grado de apertura máximo/mínimo de la válvula y comprobar que este grado de apertura está dentro del rango controlable de la válvula.
- 6) Comprobar la existencia de la cavitación generada.
- 7) Cuando el análisis anterior no satisface las condiciones 2), 5) y 6), cambiar el diámetro y el tipo de la válvula y volver a calcular.

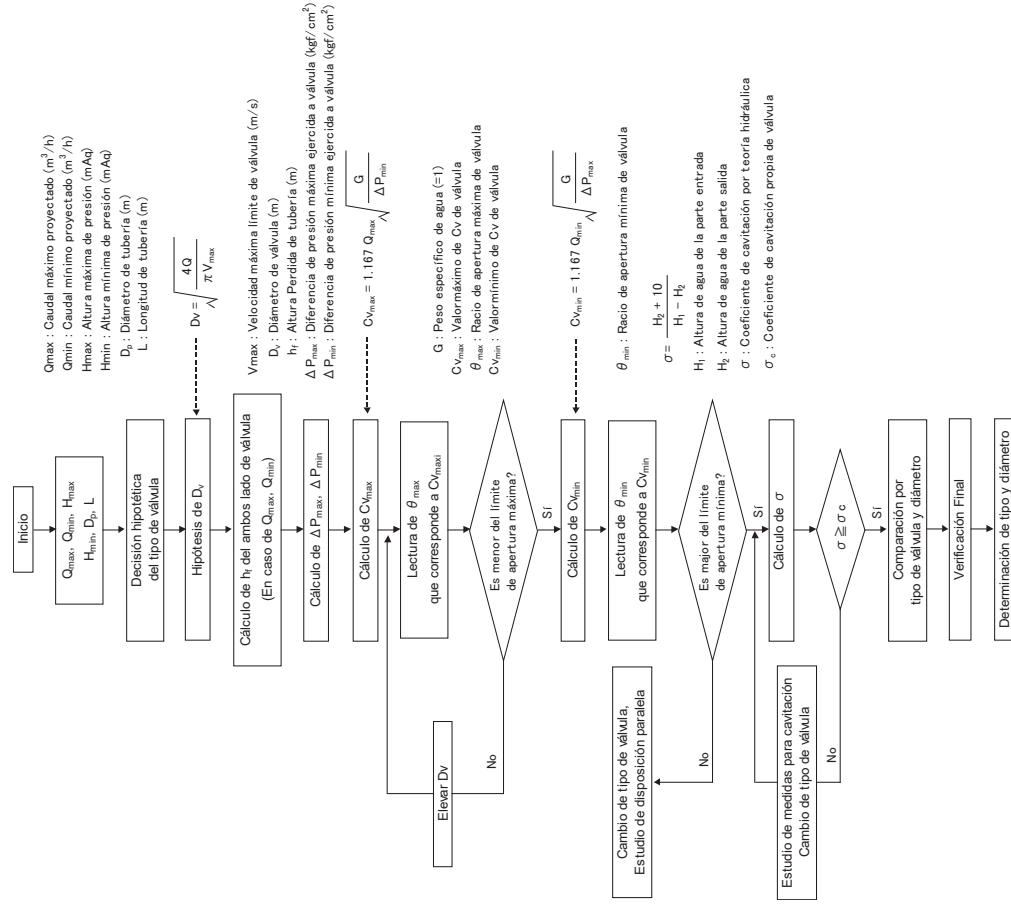


Figura 5.20 Flujo de selección de válvulas control

### 5.5 Ejercicios de problemas

Dada la siguiente situación, comprobemos la pertinencia del plan de instalación de una válvula de mariposa.

#### (1) Situación

Caudal máximo de diseño  $Q_{max} = 600 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $0.167 \text{ m}^3/\text{seg}$ )

Caudal mínimo de diseño  $Q_{min} = 150 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $0.0417 \text{ m}^3/\text{seg}$ )

Longitud de la tubería  $L = 1,500 \text{ m}$

Diámetro del tubo  $D_p = 400\text{mm}$  ( $0.4 \text{ m}$ )

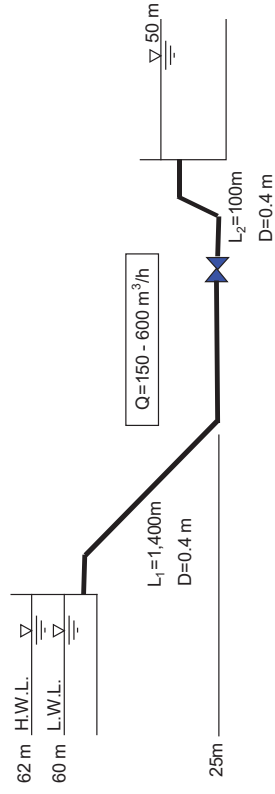


Figura 5.21 Diagrama de relaciones de niveles de agua

#### (2) Hipótesis del tipo de válvula

Supongamos que se utiliza una válvula de mariposa.

Según el catálogo del fabricante, la velocidad límite del flujo ( $V_{max}$ ) de la válvula de mariposa es de 6m.

#### (3) Hipótesis del diámetro de válvula ( $D_v$ )

$$V_{max} = \frac{Q_{max}}{\pi D_v^2 / 4} \rightarrow D_v^2 = \frac{4 \times Q_{max}}{\pi V_{max}} = \frac{4 \times 0.167}{3.14 \times 6} =$$

$$\rightarrow D_v = 0.188 \text{ m} \text{ (188 mm)}$$

Aunque el diámetro de la válvula inmediatamente superior es de 200mm, como existe una gran diferencia del diámetro del tubo de 400mm, supongamos un 250mm.

#### (4) Cálculo de cabezal de pérdidas de la tubería en el curso superior e inferior de la válvula

Caudal máximo  $Q_{max}$ , Caudal mínimo  $Q_{min}$

Se calcula el cabezal de pérdidas de la tubería con la Fórmula de Hazen-Williams ( $C=110$ ).

#### 1) Cabezal de pérdidas ( $h_{f1}$ ) en el curso superior

Donde Caudal máximo  $Q_{max} = 0.167 \text{ m}^3/\text{seg}$ ,

$$h_{f1(max)} = 10.666 \times C^{1.85} \times D^{-4.87} \times Q^{1.85} \times L$$

$$= 10.666 \times 110^{1.85} \times 0.4^{-4.87} \times 0.167^{1.85} \times 1,400$$

$$= 5.7988 \text{ m H}_2\text{O}$$

Donde Caudal mínimo  $Q_{min}=0.0417 \text{ m}^3/\text{seg}$ ,

$$h_{f1(min)} = 10.666 \times C^{1.85} \times D^{-4.87} \times Q^{1.85} \times L$$

$$= 10.666 \times 110^{1.85} \times 0.4^{-4.87} \times 0.0417^{1.85} \times 1,400$$

$$= 0.4452 \text{ m H}_2\text{O}$$

#### 2) Cabezal de pérdidas ( $h_{f1}$ ) en el curso inferior

Donde Caudal máximo  $Q_{max} = 0.167 \text{ m}^3/\text{seg}$ ,

$$h_{f2(max)} = 10.666 \times C^{1.85} \times D^{-4.87} \times Q^{1.85} \times L$$

$$= 10.666 \times 110^{1.85} \times 0.4^{-4.87} \times 0.167^{1.85} \times 100$$

$$= 0.4142 \text{ m H}_2\text{O}$$

Donde Caudal mínimo  $Q_{\min}=0.0417 \text{ m}^3/\text{seg}$ ,

$$h_{f2(\min)} = 10.566 \times C^{1.85} \times D^{4.87} \times Q^{1.85} \times L$$

$$= 10.566 \times 110^{-1.85} \times 0.4^{4.87} \times 0.0417^{1.85} \times 100$$

$$= 0.0318 \text{ m H}_2\text{O}$$

#### (5) Cálculo de presión diferencial máxima y mínima sobre la válvula

La presión diferencial antes y después de la válvula puede expresarse con la siguiente fórmula.

$$\Delta P = H_1 - H_2$$

$\Delta h$ : Cabezal de pérdidas por la válvula (m)

$H_1$ : Carga estática del cabezal en el curso superior de la válvula (m)

$H_2$ : Carga estática del cabezal en el curso inferior de la válvula (m)

#### 1) Presión diferencial máxima ( $\Delta P_{\max}$ )

La presión diferencial es máxima cuando el nivel de agua del tanque de distribución en el curso superior es H.W.L. y el caudal es mínimo.

$H_1$  = "Nivel de agua del tanque de distribución en el curso superior" — "Cabezal de pérdidas ( $h_{f1(\min)}$ )" — "Altura sobre el nivel del mar de la válvula"

$H_2$  = "Nivel de agua del tanque de distribución en el curso inferior" — "Cabezal de pérdidas ( $h_{f2(\min)}$ )" — "Altura sobre el nivel del mar de la válvula"

$$\Delta P_{\max} = (62 - 0.4452 - 25) - (50 + 0.0318 - 25) = 11.523 \text{ m-Aq (1.1523 kgf/cm}^2\text{)}$$

#### 2) Presión diferencial mínima ( $\Delta P_{\min}$ )

La presión diferencial es mínima cuando el nivel de agua del tanque de distribución en el curso superior es L.W.L. y el caudal es máximo.

$$\Delta P_{\min} = (62 - 5.7988 - 25) - (50 + 0.4142 - 25) = 5.787 \text{ m H}_2\text{O (0.5787 kgf/cm}^2\text{)}$$

#### (6) Cálculo de coeficiente de volumen ( $C_v$ )

Se calcula el coeficiente de volumen ( $C_v$ ).

#### 1) Valor de $C_v$ máximo

$$C_{v\max} = 1.167 Q_{v\max} \sqrt{\frac{1}{\Delta P_{\min}}} = 1.167 \times 600 \times \sqrt{\frac{1}{0.5787}} = 921$$

#### 2) Valor de $C_v$ mínimo

$$C_{v\min} = 1.167 Q_{v\min} \sqrt{\frac{1}{\Delta P_{\max}}} = 1.167 \times 150 \times \sqrt{\frac{1}{1.1523}} = 163$$

Utilizando la siguiente Figura y a partir de la relación entre el valor de  $C_v$  en la válvula del diámetro hipotético y el grado de apertura, se obtiene el rango de control.

En el caso anterior, el grado de apertura de la válvula compatible con el valor de  $C_v$  máximo y el valor de  $C_v$  mínimo es entre  $15^\circ$ - $47^\circ$ , lo cual satisface el rango de control de válvula de mariposa de  $15^\circ$ - $70^\circ$ .



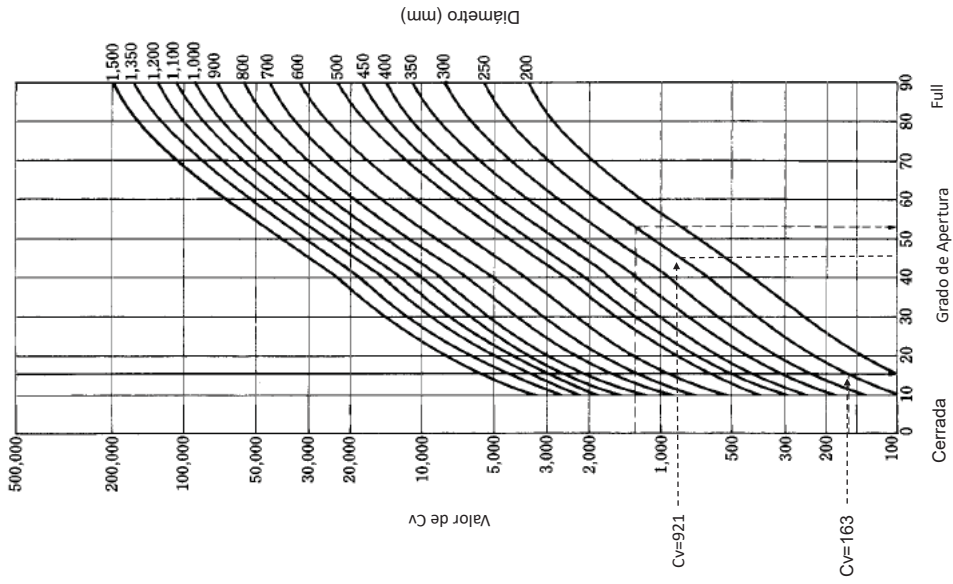


Figura 5.22 Grado de apertura y valor de Cv de la válvula

## (7) Comprobación de la cavitación

Las condiciones del coeficiente de cavitación son más exigentes cuando la presión diferencial antes y después de la válvula es máxima.

$$\sigma = \frac{H_2 + 10}{H_1 - H_2}$$

$H_1$  = "Nivel de agua del tanque de distribución en el curso superior" — "Cabezal de pérdidas ( $h_{1\text{min}}$ )" — "Altura sobre el nivel del mar de la válvula"

$$= 62 - 0.4452 - 25 = 36.5548 \text{ m H}_2\text{O}$$

$H_2$  = "Nivel de agua del tanque de distribución en el curso inferior" — "Cabezal de pérdidas ( $h_{2\text{min}}$ )" — "Altura sobre el nivel del mar de la válvula"

$$= 50 + 0.0318 - 25 = 25.0318 \text{ m H}_2\text{O}$$

$$\sigma = \frac{H_2 + 10}{H_1 - H_2} = \frac{25.0318 + 10}{36.5548 - 25.0318} = 4.04$$

El coeficiente de cavitación de uso práctico de la válvula de mariposa es un 2.5 según el documento del fabricante, por lo que se puede comprobar que no tiene problema.

**Capítulo 6**  
**Medidas para ANF comercial**



## Capítulo 6 Medidas para ANF comercial

### 6.1 Estudio de usuarios

#### 6.1.1 La importancia del estudio de usuarios

Es importante que la información exacta y actualizada de los usuarios esté siempre disponible. Para ello, no es suficiente esperar la información declarada de los usuarios e ingresar los datos, sino es importante procurar obtener la información más actualizada por nuestra parte. Por ejemplo, cuando un habitante de una vivienda se muda, si no avisa nada a ENACAL, el nuevo habitante recibe la factura del habitante anterior. De igual manera, un comercio cerrado y en inactivo puede estar recibiendo facturas.

Al obtener estas informaciones tempranamente y reflejarlas en el catastro de usuarios, se puede evitar problemas con los usuarios y reducir el monto facturado no pagado. Asimismo, al verificar el micromedidor en el terreno, se puede detectar a los habitantes no registrados en el catastro de usuarios y las conexiones ilegales sin medidores, por ende, se puede reducir la tasa de ANF comercial.

El estudio de usuarios consiste en visitar a todos los usuarios de una determinada zona, dividiendo el trabajo entre los funcionarios de ENACAL llevando a mano el cuestionario pre elaborado, entrevistarlos según el contenido del cuestionario, obtener la información nueva y correcta y corregir la información vieja y equivocada.

### 6.1.2 Métodos del estudio de usuarios

Los procedimientos del estudio de usuarios son los siguientes.

#### Selección del área de estudio y el período de estudio previsto

Se determina el área de estudio de usuarios.

Cuando se implementan las medidas de ANF en un área específica, también se implementa el estudio de usuarios en la misma área. Básicamente, se realizan visitas a todos los usuarios del área, independientemente de que la conexión sea domiciliaria o no.

Cuando se realiza el estudio de usuarios sin relación alguna con las medidas de ANF, se consulta bien a lo interno de ENACAL para priorizar las áreas consideradas como áreas de mayor necesidad de estudio. Esto puede determinarse tomando en cuenta la información actual de los usuarios, por ejemplo, hay muchos usuarios de poco consumo mensual (menos de 5m<sup>3</sup>), hay muchos usuarios que repiten cortes y reconexiones por no pago o hay numerosas aplicaciones de Tarifa ajustada o Tarifa promedio.

(Con respecto a las causas probables de consumo bajo o cero, puede consultar las "DESVIACIONES EN LOS CONSUMOS DE AGUA" (consulte el recuadro a continuación) preparado por ENACAL, agosto 2016)

Al determinar el área de estudio, ya se sabe el número de usuarios a visitar y el período de estudio estimado, unas semanas o un mes, para terminar el estudio.

Recuadro: Causas probables de bajo o cero consumo (referido de "DESVIACIONES EN LOS CONSUMOS DE AGUA", ENACAL, Agosto 2016)

Consumo bajo o consumo cero

- a) La propiedad ha sido temporalmente desocupada o abandonada.
- b) El servicio se cortó temporalmente.
- c) El servicio se suspendió permanentemente y el medidor aún no se ha eliminado.
- d) El período de lectura es más corto que el establecido en el calendario. Ocurre especialmente cuando en casos de nueva conexión, donde los días de consumo transcurridos desde la fecha de instalación hasta la fecha de lectura son inferiores al período de lectura establecido.
- e) Daño del medidor.
- f) Error de lectura.

Consumo negativo

- a) Medidor instalado al revés.

b) Error de lectura, etc.

Sin lectura

a) Imposibilidad de leer.

b) El lector omitió la lectura, con cierta razón justificable.

### Preparación del cuestionario

Se prepara el cuestionario para usuarios a visitar pensando en la información específica a obtener. La Tabla 6.1 muestra un ejemplo de los rubros de estudio. Hay que tener cuidado de hacer preguntas individuales claras, sin producir malentendidos.

**Tabla 6.1 Rubros de estudio de usuarios**

No	Rubro	No	Rubro
1	Código de Departamento /Delegación	16	Tipo de entrevistado (dueño, inquilino, vecino)
2	Ciudad	17	Tipo de edificio (apartamento, vivienda, negocio, edificio, bodega, etc.)
3	Barrio	18	Tipo de economía (escasos recursos, vivienda normal, comercio, etc.)
4	Número en el Barrio	19	Nombre de la tienda
5	Sector	20	Tipo de actividad comercial (hotel, restaurante, tienda, etc.)
6	Número de vivienda	21	Tipo de abastecimiento (camión cisterna, pozo, tubería, etc.)
7	Municipio	22	Tipo de abastecimiento (ducha, inodoro, número de llaves, etc.)
8	Número de registro	23	Número de casas conectadas
9	Número de cuenta	24	Situación del alcantarillado frente a la vivienda del usuario
10	Dirección (nombre común)	25	Estado de la caja de medidor
11	Dirección (nombre oficial)	26	Forma de conexión (normal, directa, cortada, etc.)
12	Tipo de usuario (individual, organización)	27	Estado del funcionamiento del micromedidor
13	Tipo de usuario (propia, alquilada)	28	Información del micromedidor (fabricante, número, etc.)
14	Estado del uso de agua (activo, anulado, suspendido, otros)	29	Existencia de fugas
15	Nombre del usuario y contacto	30	Ubicación del medidor (información de GPS)

Con respecto a \* 1 a \* 4 de la Tabla 6.1, consulte "ENACAL Conceptos de datos de conexión de AP" preparado por ENACAL (Agosto 2016) para la clasificación de estas condiciones.

Características de la conexión:

1. Sin caja y conexión directa	No hay caja del medidor de agua en el inmueble, pero tiene la conexión empalmada de la red hasta el domicilio.
2. Con caja y sin medidor	Tiene conexión empalmada de la red hasta el domicilio y caja pero sin medidor.
3. Con caja y con medidor	Tiene conexión domiciliar empalmada a la red, caja y también medidor.
4. Sin conexión	Cuando no dispone de conexión de agua potable.

Situación de la conexión de agua:

1. Activa	Conexión que tiene el servicio en uso.
2. Inactiva	Conexión que no hace uso del servicio. Por ejemplo, tiene la instalación hasta la caja pero no al interior del predio.
3. Cortada	Conexión que se encuentra sin servicio debido a que ha sido cortada por ENACAL.
4. No determinada	Cuando no se puede determinar la situación de la conexión debido a que la caja se encuentra sellada, enterrada o no hay nadie en el predio.
5. Fugas	Se registra si la conexión presenta fugas de agua, se hace por medio del medidor.

Datos del medidor de agua:

1. Marca del medidor	Nombre que le designa el fabricante. Por ejemplo: Berotz, Bar Meter, etc.
2. Modelo del medidor	Designación que caracteriza la marca del medidor. Por ejemplo: LXSG, MT-KD, etc.
3. Lectura del medidor	Si es ilegible, esto se debe anotar en observaciones.
4. Diámetro del medidor	Por lo general, el diámetro del medidor es similar al diámetro de la conexión.

Estado del medidor de agua:

1. Buen estado	El medidor funciona normalmente y se encuentra en perfecto estado de conservación.
2. Caratula del registro empañada	El medidor funciona pero la caratula no permite tomar la lectura del medidor.
3. Caratula del registro rota	El medidor funciona, se puede tomar la lectura pero la caratula está dañada.
4. Sin tapa	El medidor funciona pero no tiene su tapa.
5. Medidor dañado	El medidor está In Operativo porque no funciona, esta deteriorada o en estado irrecuperable.
6. No determinado	No es posible ver el estado del medidor.

En el estudio actual, se utiliza un dispositivo PDA (Asistente Digital Personal) o se lleva consigo las hojas de cuestionario en papel que se llena manualmente. El cuestionario debe tener casillas de respuestas para anotar. Si se utiliza el PDA, las respuestas de la entrevista se ingresan al dispositivo en el campo correspondiente.

El uso del PDA o papel se determina considerando la disponibilidad del equipo y la facilidad de uso para el entrevistador.

#### Conformación de equipos de estudio y asignación de áreas de visita

Se conforman equipos de estudio para visitar el lugar. Considerando el número de usuarios del área de estudio la condición del tráfico, se asigna un número de personas que permita terminar el estudio en el período previsto.

En cada equipo, se asigna al menos a un funcionario que no tenga dificultad para comunicarse con los usuarios y con buena capacidad para entrevistar. Cuando es inevitable asignar a un funcionario sin mucha experiencia, previamente el jefe o el líder del estudio de usuarios debe orientar suficientemente al funcionario realizando un simulacro de la visita, etc.

Cada equipo debe definir claramente los sectores del área de estudio donde va a visitar. Hay que tener cuidado de no repetir o dejar sectores sin visitar.

#### Estudio en el lugar

Cada equipo visita el área a su cargo y realiza la entrevista, vistiendo el uniforme de ENACAL y con cuestionario y lapicero (o PDA) a mano, además, deberá estar debidamente identificado con el carnet de ENACAL. Cada equipo garantiza un medio de comunicación como teléfono inteligente o teléfono móvil para comunicarse desde el lugar del estudio con otros equipos y con alguien de la oficina.

En la comunicación con los usuarios, hay que tener cuidado con la forma de hablar y la actitud hacia ellos, procurando no perder la cortesía. Si el usuario dice que está ocupado, primero visite a otros

vecinos y después regrese. La visita se realiza de esta manera tomando en cuenta la conveniencia del usuario.

La entrevista se realiza haciendo las preguntas del cuestionario una por una, y cada vez que responde, se ingresan las respuestas al PDA. Si se utiliza el cuestionario de papel, se apuntan las respuestas en las casillas de respuestas.

Antes de entrevistar, se anotan en el cuestionario los principales datos del usuario (número de usuario, nombre, dirección, número de medidor, etc.), y cuando se descubren errores durante la visita, se modifica el contenido lo más detallado posible.

Si se utiliza el PDA, los resultados del estudio se envían a la oficina del líder del estudio de usuarios. Si se anotaron las respuestas en el cuestionario de papel, todos los cuestionarios llenados se entregan al líder en la oficina.



Ejemplo del estudio en el proyecto piloto



Ejemplo del estudio en el proyecto piloto

#### Organización de la información

Se examinan las respuestas entregadas por los encuestadores y se organizan los asuntos y contenidos a corregir para cada usuario correspondiente.

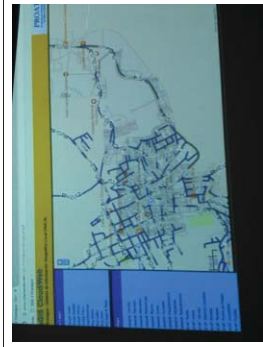
Cuando se detectan usuarios o viviendas aledañas con sospecha de conexiones ilegales, se elabora una lista de estas personas con nombre y apellido, dirección, número de usuario y descripción de la situación, y se entrega una copia al jefe de Unidad de Antifraude. Si es posible, se le explican verbalmente los antecedentes del estudio y la situación detallada de los sospechosos de conexiones ilegales.

### Corrección de la información de los usuarios

Sobre la base de los cuestionarios llenados y examinados y el resumen de los asuntos y contenidos a corregir para cada usuario, se realiza la corrección de la información de los usuarios a través de los programas Aquavism/SIGIL.



Pantalla de Aquavism



Pantalla de SIGIL

## 6.2 Medidas para conexiones ilegales

### 6.2.1 La importancia de las medidas para conexiones ilegales

Las medidas para conexiones ilegales es uno de los grandes pilares de la reducción de ANF comercial, por lo tanto, son muy importantes. Si no se toma ninguna medida, se supone que el número de conexiones ilegales se incrementará diariamente. Es un deber de ENACAL hacer esfuerzos constantes para detectarlas y controlarlas.

La constante implementación de las medidas para conexiones ilegales de ENACAL es una amenaza para usuarios de conexiones ilegales, y esto se traduce en una reducción de nuevas conexiones ilegales. Esta práctica diaria beneficia a los funcionarios de ENACAL también, ya que implica mejorar más sus técnicas a través de la acumulación y transmisión de las técnicas especializadas y el know-how en atención a los usuarios de conexiones ilegales, detección de las conexiones ilegales y procedimientos de legalización.

Algunas veces, los ingresos provenientes de la multa y el cargo por ANF de los altos consumidores producto del control de conexiones ilegales son enormes. Si no se hubiera ejecutado el control, esta enorme cantidad de ANF hubiera seguido aún. Se puede afirmar que es extremadamente alta la necesidad de implementar las medidas para conexiones ilegales, no sólo por la necesidad de mejorar la moral de los usuarios y garantizar la equidad sino también desde el punto de vista financiero de costo-beneficio de ENACAL.

### 6.2.2 Métodos de medidas para conexiones ilegales

#### Planificación de la inspección

(1) Determinar el área de inspección y las rutas de control de conexiones ilegales

Es necesario determinar el área y las rutas de medidas para conexiones ilegales priorizadas por la Unidad de Antifraude.

El orden de prioridad se basa en las decisiones de la gerencia superior y/o el plan anual (si existe).

Si no existe una decisión de la gerencia superior o un plan anual, el jefe (o jefe) de Unidad

decide la prioridad en base a las actividades del pasado y la situación actual tomando como referencia los datos de facturación mensual y las condiciones del área (nueva área de desarrollo, nuevo edificio, nuevo parque, nuevos estadios, etc.).

La observación del lector del medidor (informe de los lectores) es una de las informaciones más valiosas, incluyendo bypass, ilegales y edificios nuevos. El informe del lector se carga en Aquavism.

La zona objetivo y la ruta se decidirán considerando el informe de los lectores, los clientes con bajo consumo de agua y las quejas de los clientes.

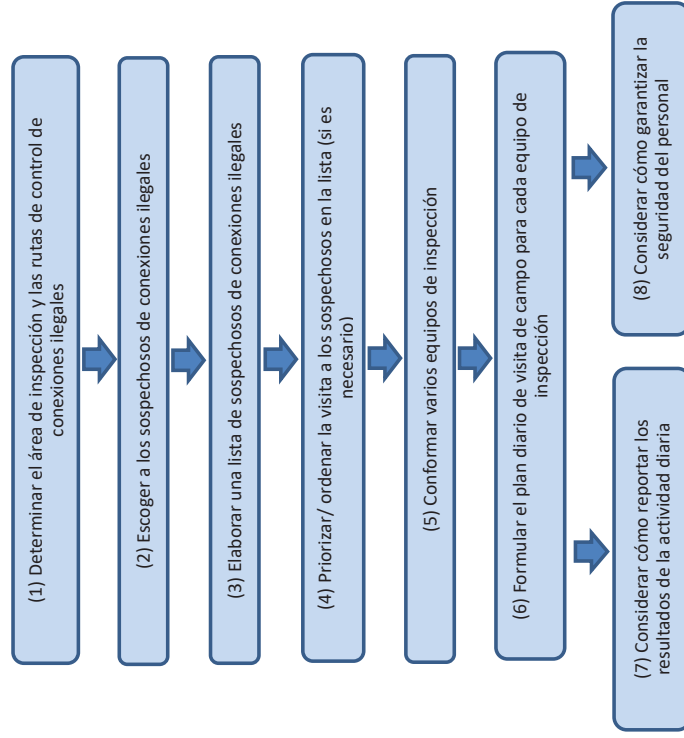


Figura 6.1 Flujo del plan de inspección

## (2) Escoger a los sospechosos de conexiones ilegales

Es necesario seleccionar a los sospechosos de conexiones ilegales para realizar visitas de inspección.

Los sospechosos incluyen a los siguientes: vivienda, tienda, restaurante, edificio para oficina, universidad, campo de atletismo, parque, nueva área de desarrollo, etc.; para usuarios y no usuarios de ENACAL.

Los sospechosos se seleccionan a partir de las experiencias previas y la situación actual de la ciudad.

Asimismo, los sospechosos pueden ser escogidos de los datos de facturación de los usuarios. Se comparan los datos con los de otros usuarios de la misma categoría. Si el usuario consume el agua mucho menos, se selecciona ese usuario como sospechoso.

La siguiente Tabla muestra un ejemplo de prioridades en la selección de los sospechosos como usuarios ilegales.

Tabla 6.2 Prioridades de investigación por niveles de consumo de agua

No.	Diámetro del Cliente	Volumen de Agua Consumido	Histórico
1	Cualquier diámetro	0 m <sup>3</sup> /mes	Más de 4 meses
2	20 mm (3/4")	Menor que 150 m <sup>3</sup> /mes	Más de 4 meses
3	25 mm (1")	Menor que 200 m <sup>3</sup> /mes	Más de 4 meses
4	40 mm (1 1/2")	Menor que 400 m <sup>3</sup> /mes	Más de 4 meses
5	50 mm (2")	Menor que 1,000 m <sup>3</sup> /mes	Más de 4 meses
6	80 mm (3")	Menor que 2,000 m <sup>3</sup> /mes	Más de 4 meses
7	100 mm (4") y 150 mm (6")	Cualquier consumo	En cualquier momento

Es útil preguntar al lector de medidor, personal de distribución de facturas y al inspector de campo las razones de poco consumo de agua.

También se puede preguntar a los lectores de micromedidores responsables del área sobre la situación del usuario (Ej.: vivienda deshabitada, módulo en venta).

Para mantener una buena relación con la Unidad de Facturación, es importante obtener de

ellos la información del cliente.

La siguiente información es muy útil: si la vivienda está habitada o deshabitada, cuántos miembros de la familia viven, es una casa de habitación o vivienda con restaurante, etc.

Los lectores de medidores, personal de distribución e inspectores de campo poseen informaciones valiosas ya que ellos visitan al usuario mensualmente.

(3) Elaborar una lista de sospechosos de conexiones ilegales

Se elabora una lista de todos los sospechosos de conexiones ilegales a visitar. Utilizando el formulario establecido (como lo siguiente), se ingresan los datos necesarios de todos los sospechosos. Asegúrese de escribir el domicilio/dirección de todos los sospechosos.

**Tabla 6.3 Ejemplo de la lista de usuarios con sospecha de conexiones ilegales**

No.	Número de cuenta de usuario	Nombre	Dirección	Zona	Ruta	Observación	.....
1							
2							
3							
...							

(4) Priorizar/ ordenar la visita a los sospechosos en la lista (si es necesario)

Si es necesario (si el número de sospechosos es bastante), es mejor priorizar o poner el orden de visita a los sospechosos en la lista.

Si no hay tiempo, no es necesario establecer prioridades para todos, puede marcar a algunos sospechosos que no pueden faltar por su importancia o por la alta posibilidad de conexiones ilegales.

(5) Conformar varios equipos de inspección

Es necesario tomar en cuenta cuántos equipos están disponibles en este momento.

Para saberlo, se conforma un equipo de inspección compuesto por un supervisor, personal contratado, personal de validación (de ser necesario), equipos y vehículos disponibles en este momento.

**Tabla 6.4 Conformación de un equipo de inspección de campo**

Unidad: personas			
Supervisor	Fontanero	Asistente	Conductor
1	De 2 a 4	De 2 a 4	1
			Total
			De 6 a 10

En promedio, un equipo se compone de 6 a 10 personas incluyendo 1 supervisor, de 2 a 4 fontaneros, de 2 a 4 asistentes y un conductor.

(6) Formular el plan diario de visita de campo para cada equipo de inspección

Un equipo de inspección diariamente visita 8-12 lugares y semanalmente realiza 40-60 visitas.

Se puede estimar cuántos días se necesitan para visitar a todos los sospechosos revisando la lista de sospechosos y el número de equipos de inspección.

Es necesario formular el plan diario de visita de campo para cada equipo de inspección.

Por ejemplo, el equipo "A" visita esta parte de la lista de sospechosos hoy y el equipo "B" visita esta parte.

De esta manera, se puede establecer claramente cuántos días se necesitan para terminar de visitar a todos los sospechosos.

Básicamente, el equipo ejecuta el plan diario, pero el plan debe permitir cambios en la agenda por la decisión de campo si hay suficientes justificaciones.

Si hay cambio, el supervisor le informa al Jefe de Unidad sobre el cambio del día.

(7) Considerar cómo reportar los resultados de las actividades diarias

En el plan de inspección debe incluirse cómo se reportan los resultados de las actividades diarias.

Cuando se detectan conexiones ilegales, el supervisor del equipo de inspección llena y

entrega el formulario de "Acta de Inspección Cuadrilla A.N.F Comercial" al usuario ilegal.

Este documento pide al usuario que se presente en la oficina de ENACAL.



**ENACAL** Gobierno de Reconstrucción y Unidad Nacional **49** años **2013**  
 EL PASADITO, Acajutla, Depto. Cabañas  
 Empresa Nicaraguense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios  
 Área Técnica Comercial  
**Acta de Inspección Cuadrilla A.N.F. Comercial**  
 N° 210719

Cuenta N°: \_\_\_\_\_ Zona: \_\_\_\_\_ Ruta: \_\_\_\_\_ Cuenta: \_\_\_\_\_  
 Día: \_\_\_\_\_ Mes: \_\_\_\_\_ Año: \_\_\_\_\_

Filiat: \_\_\_\_\_  
 Nombre Del Usuario: \_\_\_\_\_

Estimado usuario:  
 La Empresa Nicaraguense de acueductos y alcantarillados sanitarios le informa que se le ha procedido a: \_\_\_\_\_  
 Medidor en su propiedad por:  
 No Encontrar Medidor  Medidor en Mal Estado  Ilegal   
 Servicio Directo  Medidor Trabajado

A continuación información técnica del medidor anterior y actual:

Medidor anterior		Medidor Actual	
Marcas	_____	_____	_____
Numero	_____	_____	_____
Ultima lectura(U.M.)	_____	_____	_____

Servidores con los que cuenta		Tipo de vivienda			
Baños	<input type="checkbox"/>	Humilde	<input type="checkbox"/>	Comoda	<input type="checkbox"/>
Inodoros	<input type="checkbox"/>	Lujo	<input type="checkbox"/>	Desahabitada	<input type="checkbox"/>
Urinaros	<input type="checkbox"/>	Previo Baido	<input type="checkbox"/>	En Construcción	<input type="checkbox"/>
Lavamanos	<input type="checkbox"/>				
Pantry	<input type="checkbox"/>				
Lavaderos	<input type="checkbox"/>				
Lava Lampazos	<input type="checkbox"/>				

Servicios con los que cuenta		Tipo de vivienda	
Llaves Chorro	<input type="checkbox"/>	Humilde	<input type="checkbox"/>
Piscina	<input type="checkbox"/>	Comoda	<input type="checkbox"/>
Sistema	<input type="checkbox"/>	Lujo	<input type="checkbox"/>
Tanque	<input type="checkbox"/>	Desahabitada	<input type="checkbox"/>
		Previo Baido	<input type="checkbox"/>
		En Construcción	<input type="checkbox"/>

Información de la Vivienda

Jardín	<input type="checkbox"/>
Vendo Agua	<input type="checkbox"/>
Se Aquella	<input type="checkbox"/>
Alquilan Coparos	<input type="checkbox"/>
N° Vehiculos	<input type="checkbox"/>

Estado del Medidor: Operativo  Inoperativo

P/V: Positivo  20/20. Negativo

Observaciones: \_\_\_\_\_

Descripción Materiales Utilizados		Cantidad	
Tipo	Diametro		

Nombre y Firma del Fontanero N° de Empleado \_\_\_\_\_  
 Nombre y Firma del usuario Cedula de Identidad \_\_\_\_\_  
 ENACAL Brindando un Mejor Servicio al usuario. Cod:2307-19

Se debe informar sobre la situación al Jefe de Unidad y otras Unidades y Secciones relacionadas de ENACAL.

Los resultados se informan al Jefe de Unidad entregando una copia del formulario llenado por el supervisor del equipo de inspección.

El Jefe de Unidad debe compartir la información con otras Unidades y Secciones relacionadas según sea necesario.

El momento y la frecuencia del reporte se determinan en el plan de inspección.

(8) Considerar cómo garantizar la seguridad del personal

En la inspección técnica, algunas veces el equipo de inspección puede enfrentarse a una situación peligrosa como quejas agresivas del usuario ilegal, amenazas con armas o violencia a miembros del equipo.

Se recomienda al supervisor y miembros del equipo de inspección comportarse con una actitud firme.

Si la situación es muy peligrosa, sólo necesita dejar el formulario y volver más tarde.

Es mejor prepararse ante posibles situaciones desde el momento de planificación.

### Inspección Técnica

La inspección técnica se realiza con los siguientes miembros, equipos y herramientas:

**Tabla 6.5 Conformación y funciones de los miembros**

Miembros	Funciones
Supervisor x 1	Hablar con el usuario, organizar el trabajo de inspección en general, tomar fotografías de las evidencias de conexiones ilegales, llenar el formulario y entregarlo al usuario ilegal
Fontanero x 2	Cerrar válvulas, excavar alrededor del medidor, retirar el medidor, excavar alrededor del tubo de conexión domiciliaria, excavar alrededor de la vivienda buscando conexiones directas, etc.
Asistente x 2	Preparar herramientas para fontaneros, entregárselas en el momento necesario, etc.
Conductor x 1 (Todos en un camión)	Conducir el camión para movilizar el equipo

Nota: El personal de validación se asignará de acuerdo con la situación. El personal de validación verificará el trabajo después de la Inspección Técnica. El trabajo de verificación se llevará a cabo al día siguiente o pocos días después de la inspección técnica

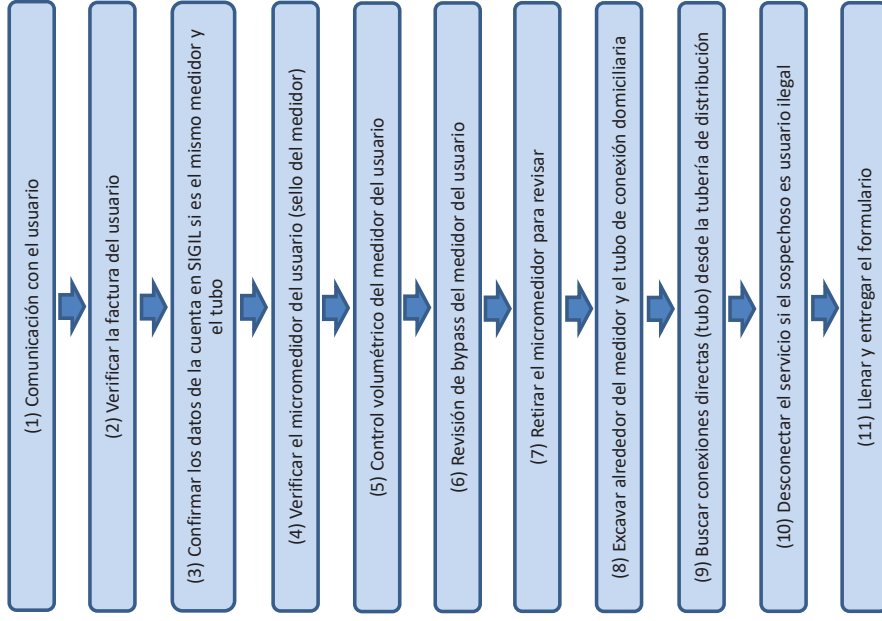








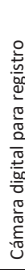


Figura 6.2 Flujo de inspección de campo

Equipos y herramientas de inspección técnica (al menos)		
1	 Camión	 Barra de hierro para romper el asfalto y excavar la tierra, etc.
2	 Micromedidor estándar (medidor ordinario nuevo)	 Pala
3	 Varillas de corte y reconexión flexibles (distintas longitudes) y balas de goma para colocarlas en el tubo de conexión domiciliaria	 Varilla acústica
4	 Detector de fugas de agua portátil	 Contenedor metálico con pequeñas herramientas adentro
5	 Cámara digital para registro	

(1) Comunicación con el usuario

Primero, el supervisor habla con la persona de la vivienda o edificio.

El personal de ENACAL dice (por ejemplo),

“Buenas. Mi nombre es -----, trabajador de ENACAL”

“Vengo para revisar las condiciones del servicio de agua en su casa.”

“Ahora vamos a hacer algunos trabajos frente a su casa.”

“Disculpe por la inconveniencia, por un rato.”

(2) Verificar la factura del usuario

Luego, el supervisor pide al usuario que muestre la factura de agua suministrada por ENACAL.

Por ejemplo:

“¿Podría enseñarme su recibo de agua?”

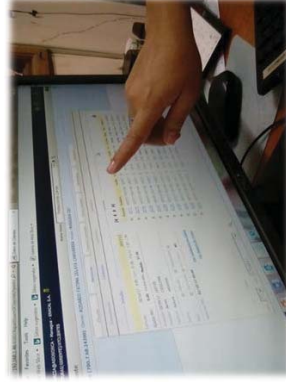
Si el usuario niega a enseñar la factura, le explica el motivo de la visita con mayores detalles.

Después, pide al fontanero que comience el trabajo de campo de rutina desde el numeral (4).

(3) Confirmar los datos de la cuenta en SIGIL /Aquavism si es el mismo medidor y el tubo

Si el usuario enseña la factura, el supervisor llama a la oficina de ENACAL para informar el número de cuenta de la factura, el número de identificación del medidor, el tamaño del tubo de conexión domiciliaria, etc.

Se revisa el micromedidor y el tubo de conexión domiciliaria del lugar para verificar si son los mismos.



(4) Verificar el micromedidor del usuario (sello de medidor)

El supervisor verifica el micromedidor del usuario.

Si el medidor tiene sello, significa que el medidor no ha sido desmontado.



## (5) Control volumétrico del medidor del usuario

El supervisor y el personal entran a la vivienda con el consentimiento del usuario.

Se instala un micromedidor estándar (ordinario pero nuevo y preciso) en la tubería dentro de la vivienda.

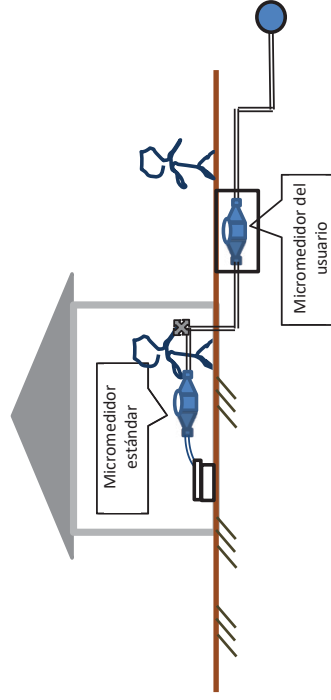


Figura 6.3 Verificación del caudal del micromedidor (imagen ilustrativa)

Se abre la tapa y se deja fluir sólo 20 litros de agua.

Se compara la diferencia de indicadores de 2 medidores (el medidor estándar y el existente).

Si la diferencia es igual o menor que 1.0 litros para 20 litros ( $\pm 5\%$ ), se considera que **NO hay problema**.

Si, por ejemplo, la diferencia es más de 1 litro para 20 litros, **sí hay un problema**.

Si el medidor estándar dentro de la vivienda muestra claramente más que el medidor de afuera, debería considerarse la posibilidad de un trabajo del medidor o tal vez hay tubos de bypass.

El método detallado de verificación volumétrica del medidor del cliente se describe en la “GUÍA PARA REALIZAR PRUEBAS DE PRECISIÓN DE LOS MEDIDORES DEL HOGAR” por ENACAL con el apoyo de PROATAS. El siguiente cuadro muestra el resumen del mismo:

Recuadro: Resumen de la verificación volumétrica del medidor del cliente (Extractos de la “Guía para realizar la prueba de precisión de los medidores domésticos”)

1. Las pruebas de campo se realizan midiendo 20 litros. El porcentaje de error se acepta dentro de  $\pm 5\%$  (entre 19 litros y 21 litros).

2. Los equipos mínimos para la ejecución de las pruebas son: **reloj digital, contenedor de 20 litros, medidor estándar, manómetro, etc.**

3. Se debe verificar la precisión de todos los equipos en las pruebas una vez por semana.

4. Antes de instalar el medidor estándar para la prueba de verificación, verifique lo siguiente:

- El medidor existente no tiene alteraciones visibles. En caso afirmativo, debe ser reemplazado.
- Si el medidor existente está instalado incorrectamente, esta situación debe registrarse y realizar la prueba en esa situación. Una vez que se completan las pruebas de verificación de errores, se corrige la instalación y se vuelve a realizar la prueba.
- La presión estática mínima durante la prueba es igual o mayor a 7 psi.

(Si se ha verificado y cumplido con lo anterior, pase a la siguiente).

## 5. PASOS PARA MEDIR LA PRECISIÓN DEL MEDIDOR

- (1) Asegúrese de que todos los grifos dentro y fuera de la casa estén cerrados.
- (2) El medidor se verifica para asegurarse de que no haya fugas.
- (3) Se elige el grifo más cercano al medidor. El medidor estándar está instalado.
- (4) Antes de comenzar la prueba, es necesario eliminar todo el aire del sistema y del medidor estándar.
- (5) Después de extraer todo el aire, cierre la válvula del comparador y luego mida la presión estática de la prueba.
- (6) La válvula se abre y el agua fluye hasta los 20 litros.
- (7) El medidor se lee con la mayor precisión posible. Calcule los porcentajes de un error.
- (8) La prueba debe realizarse tres veces para aumentar la fiabilidad del resultado.

(6) Revisión de bypass del medidor del usuario

Se cierra la válvula contigua al medidor.

El flujo del agua hacia la vivienda debe parar.

En este momento, se abre todas las llaves de la casa.

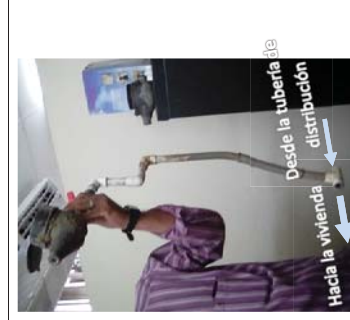
Si todavía sale agua en la casa, puede haber un bypass.

Ahora, el personal excava la tierra alrededor del micromedidor buscando el tubo de bypass. Se excava la tierra hasta la profundidad de 1.8m (2m<sup>2</sup>).

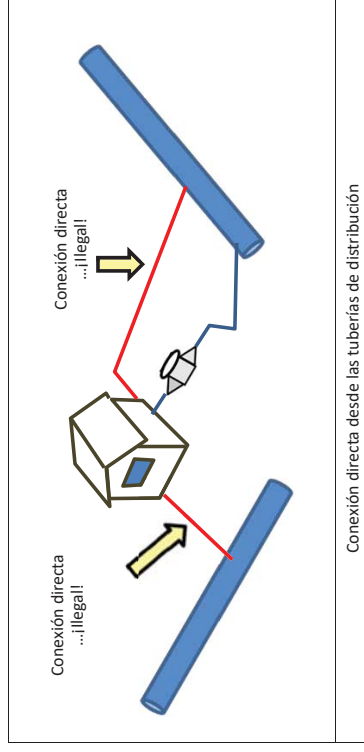
A continuación, se muestran 3 principales tipos de conexiones ilegales.



Manipulación del interior del medidor para reducir el número de rotaciones



Tubo de bypass justo antes del medidor



Conexión directa desde las tuberías de distribución

Figura 6.4 Principales tipos de conexiones ilegales

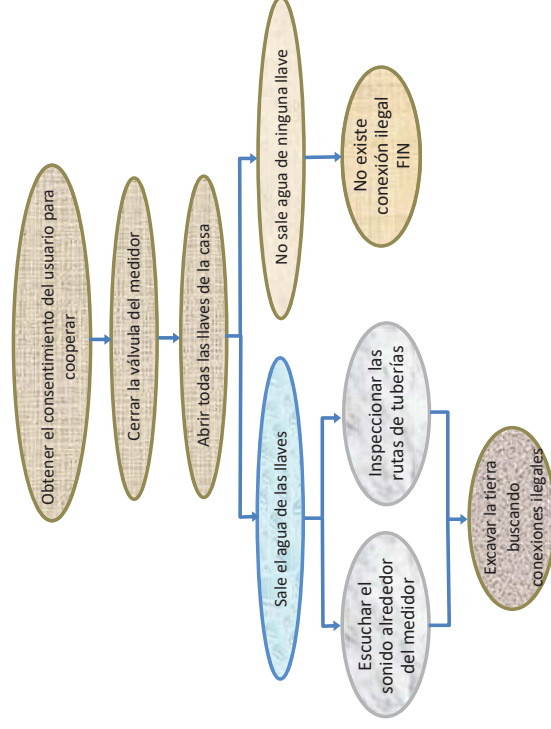


Figura 6.5 Flujo de detección de conexiones ilegales

**(7) Retirar el micromedidor para revisar el interior**

Cuando se considera que un usuario consume menos agua que lo usual, un personal cierra la válvula contigua al medidor y retira el medidor para revisar.

	
<p>1. Se retira el micromedidor.</p> 	<p>2. Se abre la cubierta del micromedidor.</p> 
<p>3. Se observan las condiciones del impulsor del interior del medidor.</p>	<p>4. Si hay un hoyo en el impulsor, es un uso ilegal para reducir el número de rotaciones.</p>

Se abre la cubierta del micromedidor y se observan las condiciones del impulsor del interior del medidor.

Por ejemplo, si hay un hoyo en el impulsor (perforación de la recámara), es un uso ilegal para reducir el número de rotaciones y manipular el consumo de agua indicado en el medidor.

Se revisa si hay otras condiciones anormales.

Si encuentra un uso ilegal del agua de ENACAL, debe tomar una foto que muestre la casa de un usuario ilegal, que incluya el medidor de agua (si este fue manipulado) y con el personal de ENACAL de una sola vez. Esta foto será una evidencia para satisfacer un requisito legal.

**(8) Excavar alrededor del medidor y el tubo de conexión domiciliaria**

Si no hay conexiones directas alrededor del micromedidor y el tubo de conexión domiciliaria, puede haber conexiones directas en otras propiedades alrededor de la vivienda.

Por lo tanto, el fontanero excava otras propiedades alrededor de la vivienda.




Excavación para detectar conexiones ilegales

**(9) Buscar conexiones directas (tubo) desde la tubería de distribución**

Se utilizan equipos de detección de conexiones ilegales como la varilla acústica o el detector de fugas, lejos del tubo de conexión domiciliaria.

Se escucha cuidadosamente el sonido de la tubería cerca del medidor o cualquier otro tubo de conexión domiciliaria utilizando la varilla acústica o detector de fugas, intentando localizar las conexiones ilegales directas.

	<p>Detección de conexiones ilegales con varilla acústica</p>
	<p>Detección de conexiones ilegales con detector de fugas</p>

(10) Desconectar el servicio si el sospechoso es usuario ilegal

Si con estas acciones el equipo descubre que el sospechoso es usuario ilegal, se procede a realizar lo siguiente:

El supervisor explica al usuario ilegal que esto es uso ilegal del agua de ENACAL. El supervisor también le comunica que su equipo tiene que desconectar el suministro de agua cumpliendo el reglamento de ENACAL.

Luego, el supervisor pide al fontanero que desconecte el servicio de agua al usuario ilegal, para conexiones con y sin medidor (conexiones directas).

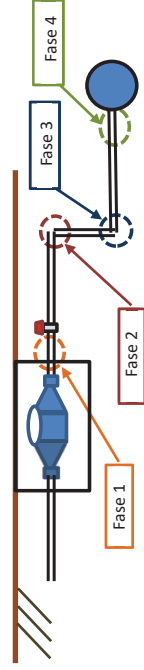
	<p>1. Se retira el micromedidor.</p>
	<p>2. Se coloca la varilla de corte y reconexión con goma dentro del tubo.</p>

	<p>3. Se empuja la goma hacia adentro.</p>
---	--

Los niveles (fases) de desconexión se establecen sobre la base de frecuencia de violación del reglamento de ENACAL y otros factores.

Existen 4 fases de desconexión, de la Fase 1 a la Fase 4.

Entre más grande el número de la fase, más estricta la desconexión.



Fase 1	Corte la tubería de servicio entre el medidor de agua y la válvula más cercana en la Fase 1.
Fase 2	En la Fase 2, se inserta goma y se detiene en el codo más cercano al medidor
Fase 3	En la Fase 3, se coloca goma en el segundo codo del medidor de agua
Fase 4	En la Fase 4, la goma se coloca frente a la conexión a la tubería de distribución.

Figura 6.6 Fases de lugares de desconexión

(11) Llenar y entregar el formulario (Acta de Inspección Cuadrilla A.N.F Comercial)

Cuando se detecta una conexión ilegal, el equipo de inspección llena y entrega el formulario "Acta de Inspección Cuadrilla ANF Comercial" al usuario ilegal.

El formulario notifica que el usuario ilegal debe presentarse en la oficina de ENACAL en las próximas 24 horas.

Si no se presenta, se otorgan 2 días más como período de gracia.

Si no se presenta aun después de 2 días, el personal de ENACAL visita la vivienda del usuario ilegal, ya que posiblemente ellos mismos reconectaron.

En este caso, se debe reportar la situación ante el Jefe de Unidad.

Los resultados se informan al Jefe de Unidad entregando una copia del formulario llenado por el supervisor del equipo de inspección.

El Jefe de Unidad debe compartir la información con otras Unidades y Secciones relacionadas de ENACAL (Unidad de Facturación, Sección de Catastro, Ventanilla Única, etc.).

El momento y la frecuencia del reporte se determinan en el plan de inspección.



### Procedimientos de legalización

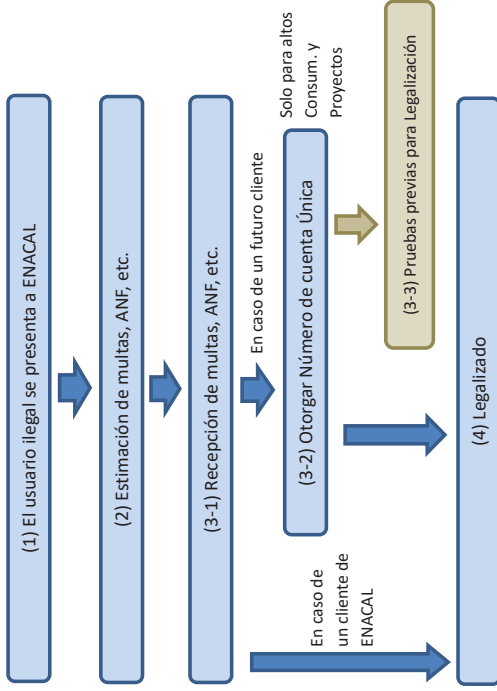


Figura 6.7 Flujo de procesos de legalización

(1) El usuario ilegal se presenta a ENACAL

El usuario ilegal se presenta ante la oficina de la Delegación de ENACAL correspondiente con el formulario llenado.

El usuario ilegal había recibido de la mano del equipo de inspección técnica el formulario llenado en su vivienda.

(2) Estimación de multas

Un Analista Comercial de la Delegación calcula las multas en ese momento.

Los desgloses de las multas son los siguientes: cargo por ANF, cargo por reconexión y cargo por medidor.

➤ Estimación de multas, cargo por ANF, cargo por reconexión y cargo por medidor (para referencia solamente)

Tabla 6.6 Tarifa de diferentes trámites (a la fecha de julio del 2019)

Ítems	Detalle	Observación
Cargo por ANF	Domiciliario: C\$35/m <sup>3</sup> Sitio de construcción: C\$40-45/m <sup>3</sup>	Calculado por Aquavism
Multa	Máx.: C\$2,000 Min.: C\$300 (domiciliario) Edificio: C\$2,000 Comercial: C\$1,000 Vivienda grande: C\$500 Vivienda pequeña: C\$300, etc.	
Cargo por reconexión	Fase 1: C\$231 Fase 2: C\$598 Fase 3: C\$970 Fase 4: C\$1,470	Calculado por Aquavism
Cargo por medidor	Precio estándar: 1/2 pulgadas: U\$30 3/4 pulgadas: U\$50	
Garantía	Max. 900 C\$ Min. 160 C\$	
Cargo por conexión nueva	Max. 1,200 C\$ Min. 581 C\$	Para no clientes de ENACAL

**(3-1) Recepción de multas**

Para la legalización, el usuario ilegal debe pagar el cargo por ANF, multa, cargo por reconexión, cargo por medidor, etc.

Si el usuario ilegal es un cliente de ENACAL, debe pagar la tarifa ANF, la multa, la tarifa de reconexión y el cargo del medidor, la garantía, etc.

Si el usuario ilegal no es cliente de ENACAL, debe pagar una tarifa de ANF, una multa, una tarifa de conexión de cliente nuevo, garantía, etc.

Está disponible el arreglo de pago si el usuario ilegal no puede pagar de una sola vez.



Si el usuario ilegal está de acuerdo con el monto de las multas, se dirige a la caja de la Delegación y paga el monto.

Después de que ENACAL reciba todos estos pagos (o una parte en caso del arreglo de pago) en la caja de la Delegación, la Unidad de Corte y Reconexiones de la Delegación debe reconectar el servicio al usuario en 24 horas.

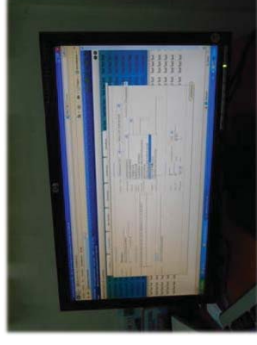
Si el usuario ilegal es un cliente de ENACAL, no se cambia el número de cuenta y el número de cliente. La información de pago de las multas, etc., por usuario ilegal se ingresa en Aquavism. El procedimiento de legalización se ha completado.

El usuario ilegal es un cliente de ENACAL	El usuario ilegal no es un cliente de ENACAL
Debe pagar la tarifa NRW, la multa, la tarifa de reconexión y el cargo del medidor, la garantía, etc.	Debe pagar la tarifa NRW, la multa, la tarifa de nueva conexión y el cargo del medidor, la garantía, etc.
El número de cuenta y el número de cliente no se modifican.	Debe proporcionarse un número de cuenta y el número de cliente
Pago de multas, etc. Luego, se completa un proceso de legalización	Dé el nuevo número de cliente en (3)-2 a continuación

**(3-2) Otorgar el nuevo número de cuenta**

Si el usuario ilegal no es cliente de ENACAL, se lo envía a la Sección de Servicio Nuevo (Doméstico) o Ventanilla Única (Cliente Comercial, Cliente Industrial, etc.) de la sucursal después de recibir los recibos de pago de usuarios ilegales.

La legalización se realiza en una de estas Secciones.



La Unidad de Atención a Usuarios Nuevos otorga un nuevo número de cliente y nuevo número de cuenta de conexión domiciliaria

Para usuarios de conexión comercial e industrial, se realiza lo mismo en la Ventanilla Única.

**(3-3) Pruebas previas para la legalización (se aplica sólo para altos consumidores o proyectos.)**



No es suficiente para pagar las multas, etc. También es necesario cumplir con el requisito de Ventanilla Única con respecto a una documentación legal.

Para la legalización, la Ventanilla Única ejecuta varias investigaciones técnicas.



Por ejemplo, estas incluyen prueba de calibración de tubo, prueba hidrostática, macromedidor y diseño de tuberías.

El solicitante asume los costos necesarios de estas investigaciones.

Estas son imágenes con fines ilustrativos.

**(4) Legalizado**

Como se mencionan en los párrafos anteriores, los procedimientos de legalización requieren colaboración con otras Unidades y Secciones de ENACAL.

Por consiguiente, la Sección responsable de las medidas para conexiones ilegales de la Delegación debe mantener contacto con las Unidades y Secciones relacionadas y dar seguimiento al proceso de legalización de cada usuario ilegal.

### Preguntas frecuentes y comunicaciones con los usuarios

Escenarios comunes de las preguntas frecuentes y comunicaciones en la implementación de las medidas para conexiones ilegales.

- Contacto inicial
- Preguntas sobre el monto de multas, etc.
- Desconexión
- Para evitar los peligros

Los detalles de las preguntas frecuentes y comunicaciones en la implementación de las medidas para conexiones

**(1) Contacto inicial**

Según el estado legal del usuario en el registro de ENACAL, el personal de ENACAL toma diferentes acciones.

**Para usuarios ilegales no registrados**, la oficina de la Delegación de ENACAL desconecta la tubería ilegal para cualquier caso y utilizando cualquier medio.

Generalmente, el usuario no admite ser usuario ilegal.

El usuario comúnmente dice lo siguiente enojado o a veces ejerciendo violencia:

“Yo no sé esto (de conexión ilegal).” o

“Esta no es mi casa.”



Incluso, puede traer y mostrar un arma.

El personal de ENACAL debe responder de manera permisiva y simpática, pero con una postura no comprometedora.

Aun cuando el usuario ilegal comienza a alterarse, el personal debe hablar despacio y con calma.

Cuando el usuario ilegal dice:

“Esta no es mi casa.”

El personal de ENACAL responde:

“Lo siento, pero Usted vive en esta casa.”

“Tenemos que cobrarle para cumplir el reglamento de ENACAL.”

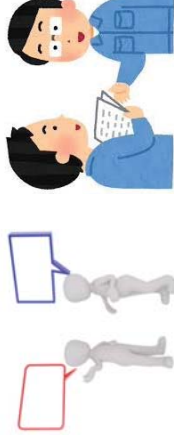
“La base de datos de ENACAL registra esta dirección.”

“Se detectó el uso ilegal de agua en esta vivienda.”

“Entonces, desconectamos el servicio a esta casa, en base al reglamento del usuario.”

“Si es necesario, puede llamar al dueño de la casa.”

“Si desea seguir utilizando el servicio, Usted tiene que venir a la oficina de ENACAL y pagar la multa y otros cargos necesarios.”



**(2) Preguntas sobre el monto de multas, etc.**

Tenemos que ser cuidadosos en caso de la siguiente situación:

Los usuarios ilegales en ocasiones hacen preguntas al personal de ENACAL como éstas:

“¿Cuánto costará la legalización?”,

“¿Cuánto costará la tarifa, la multa y el reemplazo del medidor?”, etc.

Lo importante es que podría causar problemas en días posteriores si le dice:

“No es tan caro.” ( ← Mala respuesta)

Es mejor contestar de esta manera: (Buenas respuestas →)

“No estamos autorizados para contestar esa pregunta.”

“No podemos responder la pregunta.”

“Lo siento, pero no lo sabemos, porque es responsabilidad de otra sección de ENACAL para hacer cálculos de multas y otros costos necesarios.”

**(3) Desconexión**

Si es **usuario ilegal no registrado**, es mejor desconectar el servicio lo antes posible.

Si es **usuario ilegal registrado de ENACAL**:

Si el usuario ilegal no permite la desconexión, el personal llena el formulario y lo entrega al usuario ilegal.

Sin embargo, en muchos casos, el usuario no se presenta en la oficina de ENACAL.

Así que el personal lo visita de nuevo.

En esta ocasión, si el usuario ilegal nuevamente no permite la desconexión, el personal pide a su jefe que solicite la cooperación de la Asesoría Legal de ENACAL para que acompañe al personal a la casa del usuario ilegal.

El personal y la Asesoría Legal entregan una carta firmada por el abogado de ENACAL.

De esta manera, en muchos casos el usuario ilegal admite la desconexión.

El personal se dirige nuevamente, desconecta el servicio de agua y entrega el formulario llenado por segunda vez.

Si el usuario ilegal tiene la fama de ser peligroso, el personal puede solicitar el acompañamiento de un policía para visitarlo.

Si es **usuario ilegal no registrado**, el personal puede desconectar el servicio utilizando cualquier medio aunque no lo permite el usuario ilegal.

El personal puede desconectar en la Fase 3.

Después de desconectar, el personal llena el formulario necesario y lo deja en la vivienda.

El usuario ilegal frecuentemente resiste a la desconexión, pero el personal debe hacerlo de manera firme, callada y segura.

Aunque, en ocasiones no es posible desconectar por la violencia ejercida por el usuario o por las condiciones sociales (escuela, establecimiento comercial, etc.).

En este caso, el personal de campo consulta con su jefe.

**(4) Para evitar peligros**

Ha habido sucesos peligrosos en el pasado como los siguientes:

- Un usuario ilegal golpea al personal con un palo de madera.
  - El personal llamó a la policía.
- Un fontanero de ENACAL intentó desconectar el servicio a un usuario ilegal.



Entonces, el usuario ilegal empujó al fontanero y el fontanero se lesionó.

Por esto, el fontanero y el usuario ilegal terminaron en la policía.

### Nosotros (personal de ENACAL) tenemos que persuadir al usuario ilegal.

Primero, intentemos calmar al usuario ilegal.

Si ambas partes, el usuario ilegal y el personal, están agitados, terminarán en un incidente de violencia.

Si la situación parece conducir a una situación violenta, mejor, retírese del lugar.

Luego, consulte con la Asesoría Legal de ENACAL, y con ellos lleve y deje la carta al usuario ilegal.

No se altere o se excite igual que el usuario.

### Si Usted enfrenta a una situación peligrosa en la implementación de las medidas para conexiones ilegales, ¿Qué debe hacer?

Responder demasiado suave no funciona.

Puede ser amenazado con un arma.

La forma de hablar es importante y de esto depende el éxito o el fracaso.

Intente pensar en cómo hablar para tocar el corazón y el sentimiento del usuario.

Que el usuario es muy violento no es un elemento decisivo. Es más importante cómo Usted habla de la mejor manera.



## 6.3 Pruebas de verificación de la precisión de micromedidores en el lugar

### 6.3.1 La importancia de verificar la precisión de micromedidores

La precisión de los micromedidores afecta el consumo de agua que es la base de facturación. Si la precisión del medidor es baja y el medidor muestra un valor inferior al consumo real, esto significa que existe un volumen no facturado, por ende, se producen pérdidas comerciales de ANF.

Al contrario, si el medidor muestra un valor superior al consumo real, se está cobrando a ese usuario la tarifa de un volumen superior al consumo real y la empresa de agua está haciendo una facturación excesiva para el servicio brindado. Esto implica las quejas y los reclamos de los usuarios.

Por esta razón, es importante verificar la precisión de micromedidores. Si los resultados de la verificación del medidor muestran un error de precisión excesivamente superior o inferior a los errores instrumentales establecidos, hay que reemplazarlo por otro medidor preciso.

### 6.3.2 Procedimientos de pruebas de verificación de la precisión de micromedidores en el lugar

#### Planificación y preparación del estudio

Se determinan el área de estudio, número de medidores, número de verificadores y período de estudio aproximado. Se prepara el medidor de prueba digital portátil, tanque estándar (20L) y otros equipos.



Medidor de prueba digital

Tanque estándar de 20L

Los micromedidores tienen establecido su error permisible según las zonas de caudales. Por lo tanto, para realizar la prueba, es necesario regular el volumen para cada zona principal. Para establecer la zona de caudales, se utiliza el medidor digital.

Generalmente, la prueba se realiza en las siguientes 4 zonas de caudales y la medición de errores se realiza en las zonas de  $Q_1$ - $Q_4$ .

Tabla 6.6 Clases de medidores y caudales estándares de pruebas

Símbolos	Variables	Clasificación según ISO 4064	
		Clase B	Clase C
$Q_3$	Caudal de arranque	-	-
$Q_1$	Caudal mínimo	30 L/h	15 L/h
$Q_2$	Caudal de transición	120 L/h	22,5 L/h
$Q_3$	Caudal permanente	1.5 m <sup>3</sup> /h	1.5 m <sup>3</sup> /h
$Q_4$	Caudal de sobrecarga	3.0 m <sup>3</sup> /h	3.0 m <sup>3</sup> /h

En caso del medidor en uso, se permiten errores hasta dos veces superior a los del Error Máximo Permisible para pruebas, por lo que el valor permitido de los errores es de  $\pm 10\%$  en caso de  $Q_1 \leq Q < Q_2$ , y  $\pm 4\%$  en caso de  $Q_2 \leq Q < Q_3$ .

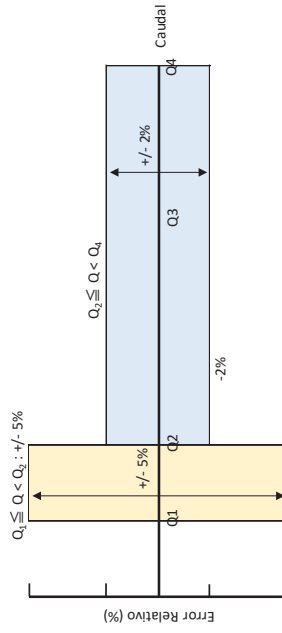


Figura 6.4 Zonas de caudales y Error Máximo Permisible para pruebas

Procedimientos de prueba

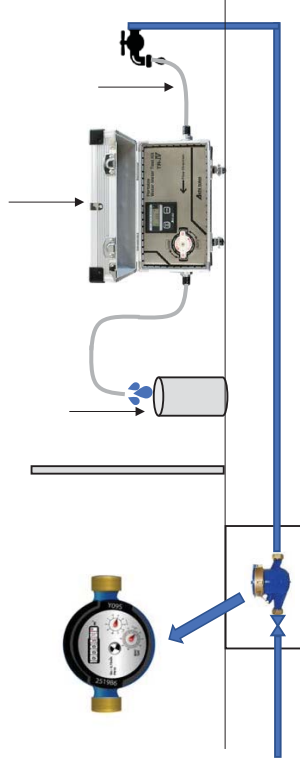


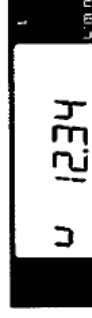
Figura 6.5 Distribución de conexión de equipos

(1) Preparación del medidor de prueba

Ha habido sucesos peligrosos en el pasado como los siguientes:

- Se expulsa el aire del medidor para poder llenar y fluir el agua en el medidor.
- Se instala la manguera de salida en la parte más alta que el medidor para no permitir la entrada del aire a la manguera cuando se detiene el flujo de agua.
- Se cierra la válvula del medidor digital y se verifica que no haya fugas desde la tubería y las uniones de la manguera.
- Se predetermina la indicación del contador de cristal líquido al "Modo de caudal instantáneo".

En el Modo de caudal instantáneo, se muestra la letra "U" a la izquierda de las cifras. Las cifras se muestran en 4 dígitos y la unidad es L/min.



- e. Se abre completamente la válvula del medidor de prueba y se regula la apertura del grifo para que el caudal sea el de la zona de la prueba.
- f. Una vez regulado el caudal a la zona establecida, se cierra completamente la válvula del medidor de prueba.
- g. Durante la prueba, se prohíbe el uso del agua en otras llaves de la vivienda.

(2) Prueba con tanque estándar (capacidad: 20L)

- a. Antes de comenzar las pruebas, se anota el valor indicado del micromedidor.
- b. Se define previamente el volumen de prueba para cada zona de caudales ( $Q_1$ : 5L,  $Q_2$ : 10L,  $Q_3$ : 20L)
- c. En cuanto se inicia la prueba, se abre completamente la válvula del medidor de prueba y se inicia el paso de agua.
- d. Observando las escalas del tanque estándar, en el instante en que llega al volumen de prueba previamente establecido, se cierra completamente la válvula del medidor de prueba y se detiene el paso de agua.
- e. Leyendo el valor indicado del micromedidor, se registra el volumen de paso en el tiempo indicado anteriormente.
- f. Se calculan los errores instrumentales del micromedidor con la siguiente fórmula.

Errores instrumentales (%) =

$$\frac{\text{Valor integral del micromedidor} - \text{Valor medido del tanque estándar}}{\text{Valor medido del tanque estándar}} \times 100$$

(Valor medido del tanque estándar)

(3) Prueba sin tanque estándar

Aunque no esté disponible un tanque estándar, se puede comprobar los errores instrumentales aproximados con el valor integral del medidor de prueba.

En caso del medidor de prueba, se puede comprobar los errores a través de la tabla de resultados de errores instrumentales en sólo 3 zonas de caudales; grandes (1,000L/h), medios (200L/h) y pequeños (100L/h). Por lo tanto, es deseable realizar la prueba en estas 3 zonas y evaluar tomando en cuenta los valores de corrección.

El modo de indicación del contador está en Modo de caudal instantáneo predeterminado en la etapa de preparación, por lo que antes de comenzar las pruebas, es necesario regresar al Modo de odómetro de viaje o Modo de caudal integrado.

- La indicación del contador cambia oprimiendo el botón de “L/min” por unos 3 segundos.
- Para restablecer a cero en el Modo de odómetro de viaje, se oprime el botón de “Total/Trip” :
  - a. Antes de comenzar las pruebas, se registra el valor indicado del micromedidor.
  - b. Se define previamente el volumen de prueba para cada zona de caudales (caudales pequeños: 10L, caudales medios: 10L, caudales grandes: 20L)
  - c. Se modifica el contador del medidor de prueba al Modo de odómetro de viaje y se restablece a cero.
  - d. En cuanto se inicia la prueba, se abre completamente la válvula del medidor de prueba y se inicia el paso de agua.
  - e. Observando la indicación del medidor de prueba, en el instante en que llega al volumen de prueba previamente establecido, se cierra completamente la válvula del medidor de prueba y se detiene el paso de agua.
  - f. Se registra el volumen de paso según el registro del medidor de prueba.
  - g. Se comprueban los errores instrumentales (%) de la zona de caudales en la tabla de resultados de errores instrumentales del medidor de prueba.
  - h. Leyendo el valor indicado del micromedidor, se registra el volumen de agua medido en el tiempo indicado anteriormente.
  - i. Se calculan los errores instrumentales del micromedidor con la siguiente fórmula.

Errores instrumentales (%) =

Valor integral del micromedidor

Valor integral del medidor de prueba

× 100

Valor integral del medidor de prueba

Errores instrumentales de la zona de caudales  
correspondiente del medidor de prueba (%)

+

Organización de los resultados de pruebas

Los resultados de las pruebas se registran en la siguiente Tabla.

Tabla 6.7 Resultados de verificación de la precisión de medidores

Paso de prueba	Q <sub>s</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>4</sub>
Caudal de prueba	Caudal de arranque (L/min)	30 L/hora (0.5 L/min)	120 L/hora (2.0 L/min)	600 L/hora (10 L/min)	Llave 100% abierta
Volumen de agua en prueba	Variable	5 L	10 L	20 L	20 L
Lectura inicial de micromedidor (L)					
Lectura final de micromedidor (L)					
Volumen registrado de micromedidor "A" (L)					
Volumen registrado de medidor de prueba digital (L)					
Volumen de agua medido por el tanque de estándar "B" (L)					
Tiempo de prueba (min)					
Caudal de prueba (L/min)					
Diferencia de volumen ("A" - "B")					
Error ((A-B)/B)*100 (%)					

## 6.4 Lectura de micromedidores

### 6.4.1 La importancia de la lectura correcta de micromedidores

Aunque el micromedidor funciona normalmente y mide correctamente el consumo de agua, si los lectores no pueden leer correctamente la indicación del medidor, estaríamos cobrando a los usuarios una tarifa superior o inferior al monto exacto de facturación.

Si la lectura del volumen es menor que el volumen real, esa diferencia se convertiría en ANF, por ende, pérdidas comerciales. Si la lectura es mayor que el volumen real, esa facturación excesiva produciría reclamos de los usuarios y mermaría la confianza hacia la empresa de agua.

La lectura de medidores la realizan los lectores. La precisión de la lectura depende grandemente de la postura hacia el trabajo y la capacidad de lectura de los lectores. Por lo tanto, habría que evaluar la exactitud de la lectura utilizando algún medio, y si existen márgenes de mejora de la exactitud, se debe brindar orientación y capacitación de manera periódica para mejorar la capacidad de lectura.

### 6.4.2 Medidas de mejora de la capacidad de lectura de micromedidores

Conocer la precisión de la lectura de los lectores

La precisión de la lectura de los lectores puede conocerse a través de la celebración de una competencia de lectura de medidores. La competencia consiste en la lectura de medidores usados con la participación de 15 a 20 lectores para evaluar la precisión y la velocidad de los participantes a través de la puntuación. Con el apoyo de JICA, la competencia se realizó el 11 de abril del 2019 en el marco de la "Capacitación para la mejora de la capacidad de lectura de medidores". Específicamente, se realizó lo siguiente.





- i. Se recolectan previamente unos 40 micromedidores usados, se etiqueta cada uno con un número y se prepara la hoja de respuestas para anotar las cifras de los medidores numerados.
- ii. Se colocan medidores usados numerados en el piso de una sala grande pegados a la pared dando una vuelta, en orden de menor a mayor comenzando desde el 1 (véase la Figura 6.4). El objetivo de colocarlos en el piso tiene un significado de acercar a la situación real de la lectura, para que hagan ejercicios con una correcta postura de lectura.

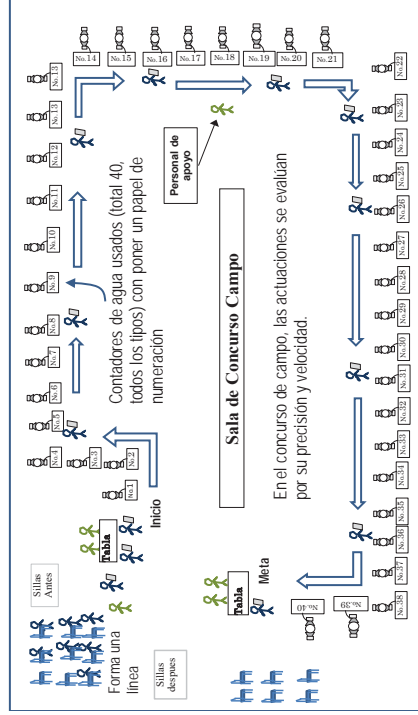
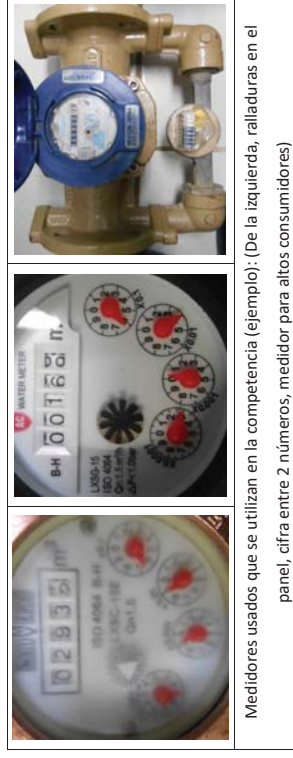


Figura 6.6 Instalación del local para la competencia de lectura de medidores (ejemplo)

- iii. Se reparten las hojas de respuestas a los lectores participantes. El primer participante inicia, luego, 2 minutos después comienza el segundo participante, así sucesivamente realizan la lectura de los medidores del 1 al 40, anotando las respuestas en la hoja de respuestas.
- iv. En la competencia, se evalúa la precisión de la lectura de los medidores, además, la velocidad de la lectura.
- v. Para ello, el personal de apoyo se ubican en el inicio y en la meta anotando el tiempo de inicio de la lectura (minuto: segundo) y el tiempo de finalización (minuto: segundo) en la hoja de respuestas de los participantes.

- vi. El criterio de puntuación podría ser, por ejemplo, el 80% para la precisión y el 20% para la velocidad. La precisión se evalúa con el porcentaje de respuestas correctas en la lectura de las cifras de los medidores.
- vii. La velocidad se evalúa con el tiempo de lectura en relación a los resultados de todos los participantes de la competencia. La puntuación se calcula estableciendo como 100 al participante más rápido y 0 al participante más lento. (Nota \*)
- viii. En la competencia, se utilizan diferentes tipos de medidores que encontrarán los lectores en el terreno, no sólo los medidores limpios y fáciles de leer sino también los medidores para altos consumidores, medidores con ralladuras y difíciles de leer, medidores indicando una cifra entre 2 números, etc.



- ix. Cuando se prepara la hoja de respuestas, se determina hasta cuántos decimales (m3) tienen que leer los lectores en la competencia. La capacidad exacta de la lectura se evalúa mejor con la lectura de decimales más pequeños que la centésima, pero esto implica más labores y más tiempo para la puntuación.
- x. Para reducir el tiempo de puntuación, podrían disponer de las opciones en la hoja de respuestas para que escojan la respuesta correcta.

Nota\*: La puntuación para la velocidad se determina dividiendo entre 100 la diferencia de tiempo obtenido entre el participante más rápido y el más lento y ubicando el tiempo obtenido de los participantes de 0 a 100. Ej.: El participante más rápido obtuvo 15:05, el más lento 20:34 y el participante "A" obtuvo 16:30. En este caso,  $20:34 - 15:05 = 5:29 = 329$  segundos.  $329 \text{ segundos} \div 100 = 3.29$  segundos.  $20:34 - 16:30 = 4:04 = 244$  segundos.  $244 \div 3.29 = 74.16... \Rightarrow 75$  puntos

### Organización de capacitación y competencia de lectura de

La competencia mencionada anteriormente es para conocer las técnicas de lectura de los lectores. Sin embargo, si se imparten clases antes de la competencia para que los lectores aprendan sobre los roles y la disposición como lectores, la estructura de diferentes tipos de medidores y cómo leerlos, etc., podría tomar forma de una capacitación para mejorar las técnicas de los lectores.

En la capacitación, también se podría introducir el examen escrito después de la clase, la discusión grupal y el aprendizaje grupal para que sirvan como ejercicios de lectura y mejora de capacidades de los participantes.



Capacitación en lectura de medidores



Examen en lectura de medidores

La competencia que tiene como objetivo mejorar las técnicas de lectura sirve para motivar a los participantes a través de la presentación de cuadro de honor de los primeros 8-10 participantes y la realización de un acto de reconocimiento en el mismo día de la competencia realizando rápidamente los cálculos de las puntuaciones de los resultados de todos los competidores.



Presentación de los resultados y acto de reconocimiento




### Inspección in situ de los resultados de la lectura

Para conocer la precisión de la lectura de medidores en el terreno, es efectivo realizar una inspección in situ de los resultados de la lectura, la cual se realiza de la siguiente manera.


- i. Se extraen varias decenas o varios cientos de usuarios de una cierta área o escogidos aleatoriamente y se elabora una lista de valor leído (valor acumulado) de los medidores del mes anterior.
- ii. Seguidamente, se envía a un funcionario diferente al lector para que lea las cifras del micromedidor actual de los usuarios de la lista.
- iii. Se calcula el consumo promedio diario de los usuarios a partir de los consumos anteriores y se multiplica lo obtenido por días transcurridos desde el último día de corte hasta la fecha de inspección in situ, de esta manera, se puede calcular tentativamente el consumo adecuado del día de inspección in situ.
- iv. Se compara esta cifra con la cifra actual del medidor en la inspección in situ. Si se observa una gran diferencia, puede ser que se equivocó la lectura, no la leyó o manipuló intencionalmente los datos.
- v. En este caso, se debe informar al jefe del lector. Si es reincidente, se debe cambiar el área a cargo de este lector o tomar otras medidas adecuadas.

Esta inspección debe realizarse sin avisar previamente al lector u otras personas involucradas.

Para seleccionar a los usuarios objeto de inspección in situ, se puede incluir a los usuarios que registran Om3 de consumo todos los meses, usuarios que registran el mismo consumo todos los meses o usuarios con muy poco consumo, de esta manera servirá para detectar ANF comercial.



**Capítulo 7**  
**Procedimiento de diagnóstico de las redes de  
distribución, y evaluación para una gestión sostenible**



## Capítulo 7 Procedimiento de diagnóstico de las redes de distribución, y evaluación para una gestión sostenible

### 7.1 Evaluación de redes de distribución con indicadores de evaluación de pérdidas físicas

Tomando el caso del microsector MS No.61 como estudio de caso, se muestra el concepto de los indicadores y sus métodos de utilización.

Existen 990 usuarios en el MS No.61 y la longitud de tuberías de distribución es de unos 7.5km.

Este microsector se divide en 12 subsectores los cuales pueden ser aislados hidráulicamente mediante la manipulación de válvulas de cierre.



Figura 7.1. Microsector No.61

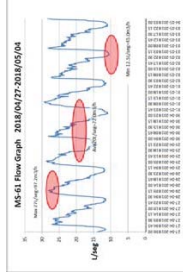
### 7.1.1 Medición y análisis de microsectores




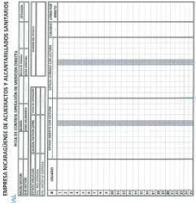
En esta sección, se resume qué tipos de indicadores se puede elaborar y qué tipo de evaluación se puede realizar con el análisis de caudales medidos por microsectores.

Tipo de datos de Medición	Gráfico de análisis	Parámetros
caudal durante 1 mes	<p>Variación de caudal de distribución durante 1 mes</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caudal máximo</li> <li>• Caudal mínimo</li> <li>• Caudal promedio</li> </ul> <p>Tasa de ANF (%)</p>
<p>De los datos de caudales medidos durante un mes, se puede obtener el volumen máximo de distribución horario, el volumen de distribución promedio horario y el volumen mínimo de distribución nocturno. Asimismo, si se sabe el volumen facturado a partir del consumo medido en el mismo período, se puede calcular el volumen de ANF.</p> <p>En este momento, se monitorea suponiendo que aproximadamente el 60% de ANF es el volumen originado por las pérdidas físicas, y se compara con el volumen mínimo de distribución nocturno.</p>		

Tipo de datos de Variación	Gráfico de análisis	Parámetros
caudal diario	<p>Variación de caudal de distribución diario</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caudal máximo</li> <li>• Caudal mínimo</li> <li>• Caudal promedio</li> </ul> <p>Caudal mínimo nocturno</p>
<p>De los datos de volumen de distribución diario, se puede obtener el volumen máximo de distribución horario, el volumen de distribución promedio horario y el volumen mínimo de distribución nocturno.</p>		

Tipo de datos	Gráfico de análisis	Parámetros
Generalmente, el caudal mínimo nocturno ( $Q_{minf}$ ) incluye bastante cantidad de pérdidas físicas, y se puede reconocer este valor como valor similar al volumen de fugas. Sin embargo, este $Q_{minf}$ es el valor medido en el horario nocturno de alta presión, por lo que es necesario realizar un cálculo de corrección utilizando la presión promedio diaria. Sencillamente, cuando la presión nocturna es de 35m-H <sub>2</sub> O y el promedio 25m-H <sub>2</sub> O, se obtiene: $\sqrt{25/35}=0.84$ , y el valor obtenido multiplicando el caudal mínimo nocturno por 0.84 equivale al volumen de fugas promedio diario.		

Tipo de datos	Gráfico de análisis	Parámetros
Caudal mínimo nocturno $Q_{minf}$		<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40%;">Indicador 2</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40%;">L/con/día</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40%;">Indicador 3</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40%;">L/km/min</div> </div>
<p><b>Cambios en el caudal mínimo nocturno</b></p> <p>El <math>Q_{minf}</math> se mide para estimar el volumen de pérdidas físicas en los microsectores. En la mayoría de los casos, aunque varían según las condiciones, se utiliza el método llamado "Prueba de paso" y se registra el <math>Q_{minf}</math> de cada paso cerrando temporalmente los subsectores. Como resultado, se obtiene el caudal mínimo nocturno generado en los subsectores y se esclarece la distribución local del volumen de distribución (<math>\approx</math> volumen de pérdidas).</p> <p>Los datos de los subsectores sectorializados se utilizan para comparar datos utilizando los indicadores 2 y 3, lo cual permite identificar los subsectores con mayor incidencia de fugas, consumos y volumen desconocido.</p>		

Tipo de datos	Gráfico de análisis	Parámetros
Medición directa de pérdidas en subsector		<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40%;">Indicador 2</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40%;">L/km/min</div> </div>
<p><b>Medición directa</b></p>  		
<p><b>Hoja de registro</b></p> 		
<p>La medición directa (<math>Q_{directa}</math>) es el método para medir con caudalímetro el volumen de entrada al subsector cerrando todas las válvulas de micromedidores del subsector en la noche para que no haya consumo. Esto permite cuantificar el volumen de pérdidas (fugas) existentes en el sector objeto del estudio.</p>		

### 7.1.2 Tipos y métodos de utilización de indicadores

El método propuesto por IWA es bien conocido como un índice para evaluar el agua no facturada, y está utilizado como indicador que cuantifica la eficiencia de desempeño entre diferentes proveedores de agua potable.

Por otro lado, la red de distribución de agua de cada proveedor tiene sus propias características. Para evaluar su vulnerabilidad y envejecimiento de las tuberías existentes, es recomendable adoptar índices que sean más fácil de usar, basado en el índice IWA.

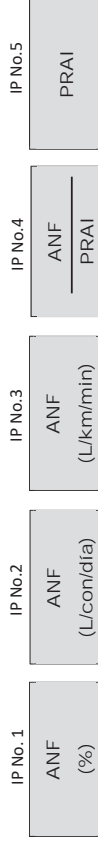
Aquí, mostramos cómo usar los índices de evaluación usando los valores medidos a nivel del micro sector, basados en el valor del agua no facturada.

La evaluación de las redes de distribución se realiza calificándolas con varios indicadores.

Existen 5 indicadores relacionados con los datos de medición de caudales (Indicadores Principales) y 3 indicadores necesarios para complementar los datos (Indicadores Complementarios).

- Indicadores Principales (IP) No.1 - No.5: Son útiles para diagnosticar las vías y las redes de distribución.
- Indicadores Complementarios (IC) No.6 - No.7: Se utilizan cuando es necesario corregir los Indicadores Principales.
- Indicador Complementario No.8: Es útil para verificar la evaluación de las actividades.

#### Indicadores Principales



#### Indicadores Complementarios



**Tabla 7.1 Tipo de indicadores**

Tipo	Descripciones
IP No.1 ANF (%)	El indicador No.1 es la tasa de ANF. Cuando se compara y se analiza la tasa de ANF por microsectores, aunque los sectores tengan la misma tasa de ANF, los resultados de la evaluación de redes de distribución varían por las diferencias de longitud de red de tuberías, densidad de número de hidrantes y consumo por una conexión.

Tipo	Descripciones
IP No.2 ANF (L/con/día)	<p>El Indicador No.2 es el volumen total de ANF convertido en volumen por un usuario y por día.</p> <p>En el sentido estricto, se calcula a partir del número de derivaciones desde la tubería de distribución, por lo tanto, en caso de viviendas colectivas como apartamentos y condominios, no es necesario considerar el número de todos los usuarios.</p> <p>Este indicador tiene alta interrelación con las pérdidas físicas.</p> <p>Cuando la tubería de distribución tiene pocas fugas, se puede evaluar el volumen de pérdidas con este indicador.</p> <p>[Fórmula]</p> <p><math>ANF \text{ mensual} \div 30 \text{ días} \div \text{Número de conexiones de usuarios}</math></p> <p>El indicador "L/con/día" recomendado por la IWA es el indicador diseñado para calcular con el volumen de pérdidas físicas. En este caso, se expresa el volumen total de ANF en L/con/día como un método de estimación de vulnerabilidad de las redes de distribución.</p>
IP No.3 ANF (L/km/min)	<p>El Indicador No.3 es el volumen total de ANF convertido en volumen por 1km de tubería de distribución.</p> <p>Al igual que el IP No.2, tiene alta interrelación con las pérdidas físicas.</p> <p>Cuando se generan numerosas fugas en la tubería de distribución más que la de acomedida, se puede evaluar el volumen de pérdidas con este indicador.</p> <p>[Fórmula]</p> <p><math>ANF \text{ mensual} \div 30 \text{ días} \div 24 \text{ horas} \div 60 \text{ minutos} \div \text{Longitud de red de tuberías}</math></p>
IP No.4 ANF PRAI	<p>El indicador basado en el Indicador No.4 es conocido como Índice de Fugas de Infraestructura (IFI) recomendado por la IWA (Asociación Internacional del Agua).</p> <p>El IFI se calcula en relación de Pérdidas Reales Anuales (PRAA) / Pérdidas Reales Anuales Inevitables (PRAI). Un valor grande de este índice implica mayor manifestación de problemas de fugas en la red de tuberías de distribución y mayor nivel de deterioro.</p> <p><b>PRAA:</b> Volumen de pérdidas físicas actuales</p> <p><b>PRAI:</b> Volumen de fugas que ya no se puede reducir más</p>

Tipo	Descripciones
IP No.5 PRAI	<p>Para conocer exactamente el volumen de pérdidas físicas, es necesario un estudio minucioso, por lo tanto, en este caso se adoptó el indicador que utiliza el volumen de ANF sustituyendo a las PRAA, con el objetivo único de comparar los niveles de deterioro de las redes de distribución.</p> <p>Cabe señalar que es mejor calcular "Q<sub>minf</sub>/PRAI" utilizando el Q<sub>minf</sub> en vez de ANF para determinar fácilmente el deterioro de la red de tuberías, si es posible conseguir los datos de caudal mínimo nocturno (Q<sub>minf</sub>).</p> <p>Para calcular el IFI recomendado por la IWA, es necesario conocer exactamente el volumen de pérdidas físicas. Para calcular el volumen de pérdidas físicas en el análisis de volumen de distribución, se adoptan los siguientes métodos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Suponiendo un cierto porcentaje del volumen facturado medido como volumen de pérdidas aparentes, se resta este valor del volumen de pérdidas y se establece esto como pérdidas físicas.</li> <li>Se analiza minuciosamente el caudal mínimo nocturno y se obtiene el volumen de pérdidas físicas reales.</li> </ol> <p>La precisión es más alta en el caso 2), sin embargo, se requiere conocer exactamente el consumo real incluido en el caudal mínimo nocturno.</p> <p>Si cuenta con una amplia variedad de datos del Proyecto piloto, se puede establecer como pérdidas físicas el valor de, por ejemplo, 60% o 70% del caudal mínimo nocturno.</p> <p>Las <b>Pérdida Reales Anuales Inevitables (PRAI)</b> es el volumen que ya no se puede reducir más y es un valor teórico obtenido de la fórmula. Sin embargo, si se ignora la relación costo-efectividad, en realidad no es imposible reducir hasta 0.</p> <p>La unidad es L/con/día.</p>

### 7.1.3 Criterios de indicadores

IP No. 1

ANF  
(%)

Las medidas que se deben tomar según los niveles de tasa de ANF son las siguientes. De manera global, se divide en 6 etapas.

**Tabla 7.2** Medidas de reducción de ANF por etapas

Etapa	Tasa de ANF	Objetivo	Medida
1	Más de 35%	Reducción de fugas superficiales, Reducción de pérdidas aparentes globales	Recorrido de observación, Investigación de usuarios, Reemplazo de micromedidores, Comunicación con usuarios (Educación), Trabajo preparatorio para la etapa 2.
2	25%-35%	Reducción de fugas subterráneas, reducción de robo de agua	Preparación de planos correctos de tuberías, Establecimiento de los sectores de control de fugas o DHM, Capacitación para los funcionarios, Uso de equipos de tecnología avanzada
3	25%-30% (Duplicado con la 2da. etapa)	Prevención de reaparición de fugas	Aumento de trabajos para la prevención de fugas, Comienzo de reemplazo de tuberías deterioradas.
4	15%-25%	Trabajo profundo de prevención de fugas	Revisión de los trabajos cotidianos para la prevención de fugas, Aceleración de reemplazo de tuberías deterioradas, Desarrollo de equipos para la prevención de fugas con más eficiencia
5	5%-15%	Finalización de trabajo de prevención de fugas	Reemplazo minucioso de tuberías deterioradas, Racionalización interdepartamental sobre prevención de fugas y pérdidas aparentes
6	Meno de 5%	Mantenimiento de mínima de fugas	Continuación de trabajo mínimo necesario de prevención de fugas y de pérdidas aparentes

Fuente: Non-Rvenue Water Management (2011, Shozo Yamazaki, Suido Sangyo Shimibun)

IP No.2

ANF  
(L/con/día)

Según el Proyecto piloto realizado en los microsectores de la Ciudad de Managua, se estima que aproximadamente el 60% de ANF son pérdidas reales, y esto se encuentra en el rango de aproximadamente 70% - 90% del caudal mínimo nocturno.

La siguiente Tabla muestra la meta de pérdidas físicas según niveles de IFI y presión de suministro.

**Tabla 7.3** Meta de pérdidas físicas

Categoría de desempeño técnico	IFI	Meta de pérdidas físicas (Litros/conexión/día) según rango de presión promedio de:				
		10m	20m	30m	40m	50m
País desarrollado	A De 1 a 2		< 50	< 75	< 100	< 125
	B De 2 a 4		50 – 100	75 – 150	100 – 200	125 – 250
	C De 4 a 8		100 – 200	150 – 300	200 – 400	250 – 500
	D Mayor a 8		> 200	> 300	> 400	> 500
Países en desarrollo	A De 1 a 4	< 50	< 100	< 150	< 200	< 250
	B De 4 a 8	50 – 100	100 – 200	150 – 300	200 – 400	250 – 500
	C De 8 a 16	100 – 200	200 – 400	300 – 600	400 – 800	500 – 1000
	D Mayor a 16	> 200	> 400	> 600	> 800	> 1000

Fuente: Roland Liemberger, Conferencia sobre las Fugas, IWA, 2005

Tomando en cuenta esta matriz, el siguiente es un ejemplo de criterios de niveles de deterioro de las redes de distribución en la Ciudad de Managua. Indica que el nivel de deterioro es menor en el Nivel A y mayor en el Nivel E.

IP No.2 (L/con/día)	Nivel
x<125	A
125≤x<250	B
250≤x<500	C
500≤x<1000	D
1000≤x	E



IP No.3

ANF  
(L/km/min)

Uno de los indicadores similares recomendados por la IWA que expresa el volumen de pérdidas físicas es el indicador "L/km/día. Esto se puede aplicar en los sectores de baja densidad de número de conexiones de servicio de agua (menos de 20/km).

En este caso, se expresa el volumen total de ANF en "L/km/min" como un método de estimación de vulnerabilidad de las redes de distribución. Es más fácil utilizar el valor convertido por minuto que por día, ya que para la unidad del volumen del agua medido en los subsectores se utiliza más comúnmente L/h o m<sup>3</sup>/h.

IP No.3 (L/km/min)	Nivel
$x < 10$	A
$10 \leq x < 20$	B
$20 \leq x < 50$	C
$50 \leq x < 100$	D
$100 \leq x$	E

IP No.4

ANF (L/día)  
PRAI (L/día)

En el indicador de la IWA, se utiliza el volumen de pérdidas físicas, y para conocer exactamente este valor, se requiere un estudio minucioso. Por lo tanto, en este caso, se sustituye con el indicador que utiliza el volumen de ANF.

Tomando como referencia la Tabla 7.3, se establecieron los siguientes criterios.

IP No.4	Nivel
$1 \leq x < 4$	A
$4 \leq x < 8$	B
$8 \leq x < 16$	C
$16 \leq x < 20$	D
$20 \leq x$	E

IP No.5

PRAI  
(L/día)

Se obtiene con la siguiente fórmula.

$$\text{PRAI (Litros/día)} = (18 \times L_m + 0.8 \times N_c + 25 \times L_c) \times P$$

$L_m$  : Longitud total de tuberías de distribución (km)

$N_c$  : Número de conexiones de servicio

$L_c$  : Longitud total de tubería de acometida (km)

= Longitud promedio por conexión (km/conex.) × Número de conexión

$P$  : Presión operativa promedio (m-H<sub>2</sub>O)

### 7.1.4 Aplicación de indicadores

En la sección anterior, se mencionaron la naturaleza y los criterios de los 5 principales indicadores. En el trabajo actual, es importante pensar en qué etapa y con qué indicador se evalúa.

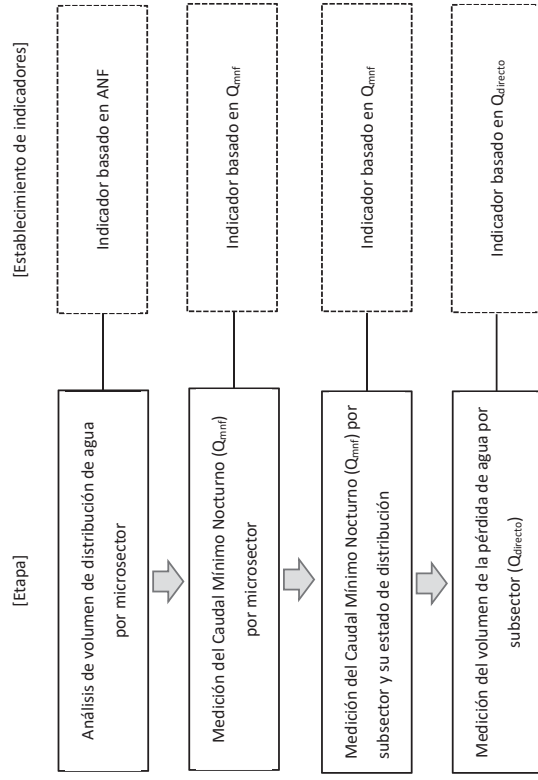
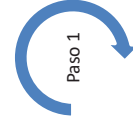


Figura 7.2 Establecimiento de indicadores según pasos de acción

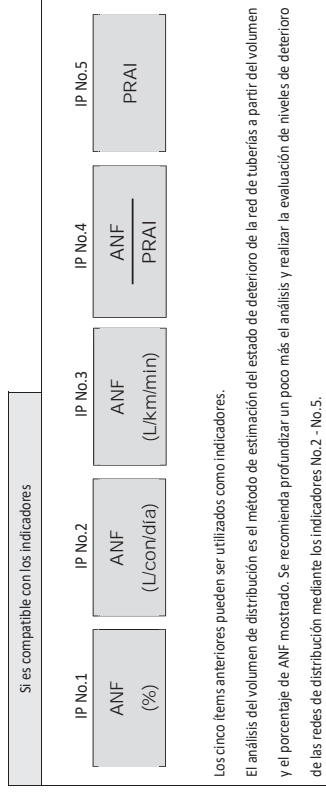
### Análisis del volumen de distribución



En el Paso 1 de la gestión de ANF “Análisis del volumen de distribución”, es necesario utilizar al máximo el indicador anterior.

Entre los indicadores No.1 - No.5, la tasa de ANF (%) es el parámetro básico.

En el análisis de volumen de distribución, se calcula la tasa de ANF en base a los datos del volumen de distribución y el volumen facturado, sin embargo, en muchos casos, estos datos son de poca confiabilidad. Si no cuenta con equipos de medición de volumen de distribución, se puede realizar el análisis con indicadores No.1 - No.5 con los datos obtenidos utilizando el caudalímetro ultrasónico.



Análisis del caudal mínimo nocturno ( $Q_{mnf}$ )

En el Paso 2 de la gestión de ANF “Análisis del caudal mínimo nocturno ( $Q_{mnf}$ )” también se puede aplicar el indicador anterior.

Step 2

La tasa de ANF normalmente se contabiliza con el intervalo de un mes, sin embargo, el caudal mínimo nocturno debe ser monitoreado con el intervalo más corto, por lo tanto, se sustituye la tasa de ANF utilizada en el indicador anterior por el  $Q_{mnf}$  para la comparación.

Si es compatible con los indicadores

IP No.1 $Q_{mnf}$ (L/min)	IP No.2 (Nota *1) $Q_{mnf}$ (L/con/min)	IP No.3 $Q_{mnf}$ (L/km/min)	IP No.4 $\frac{Q_{mnf}}{PRAI}$	IP No.5 PRAI
---------------------------------	---	------------------------------------	-----------------------------------	-----------------

Los anteriores No.2 - No.5 son ítems que pueden ser utilizados como indicadores.

Al medir el  $Q_{mnf}$  como volumen de entrada de todo el microsector, si el tamaño de la red de tuberías es grande (más de 2,000 hidrantes), hay que tener cuidado. Cuando el tamaño es grande con muchos usuarios, hay mayor influencia de la mezcla del consumo nocturno y es más difícil calcular el volumen similar de fugas.

Cuando se mide el  $Q_{mnf}$  por subsectores en la Prueba de paso, si se mide fuera del horario óptimo para la medición (1:00 - 3:00), igualmente hay mayor influencia de la mezcla del consumo del subsector. Asimismo, hay que tener cuidado con la presión ya que no va a ser la misma de las condiciones normales por las variaciones del número de subsectores con el corte de servicio de agua.

(Nota \*1)

El indicador IP No.2 mostrado en el artículo anterior está basándose en el valor de ANF por día. Este indicador está calculado con la unidad por minuto puesto que el Caudal Mínimo Nocturno que se registra por minuto.

## Medición directa del volumen de pérdida de agua

En el Paso 3 de la gestión de ANF, se utiliza el método “Medición directa” para medir correctamente el volumen de pérdidas en el subsector.

Paso 3

No es necesario realizar la medición directa en todos los subsectores. Después de la medición del  $Q_{mnf}$  de los subsectores junto con la aplicación de la Prueba de paso, es deseable realizar la medición directa únicamente en los subsectores donde se considera que existe un gran volumen de pérdidas.

Si es compatible con los indicadores

IP No.1 $Q_{directo}$ (L/min)	IP No.2 $Q_{directo}$ (L/con/min)	IP No.3 $Q_{directo}$ (L/km/min)	IP No.4 $\frac{Q_{directo}}{PRAI}$	IP No.5 PRAI
-------------------------------------	---	--	---------------------------------------	-----------------

Los anteriores No.2 - No.5 son ítems que pueden ser utilizados como indicadores.

La medición de  $Q_{directo}$  requiere cerrar todas las válvulas de micromedidores de los subsectores sujeto a la medición por corto tiempo, por lo que el número de usuarios debe ser menos de 200.

Para la medición, es deseable realizar el trabajo de lectura de micromedidores antes de la medición para verificar el consumo de los usuarios del subsector.

Por ejemplo, a las 0:00, el operador lee y registra el valor indicado de todos los micromedidores. Posteriormente a la 1:00, nuevamente el operador lee el valor indicado de todos los micromedidores. Al contabilizar la diferencia de los valores indicados, se puede conocer el consumo de una hora. Aunque es diferente del consumo del horario en las altas horas de la noche, son datos importantes para estimar el consumo incluido en el caudal mínimo nocturno.

(Estimación de volumen de insensibilidad de micromedidores)

Algunas veces, los micromedidores consumen microcaudales aunque las agujas no giran. Esto se llama el volumen de insensibilidad del medidor. Por ejemplo, supongamos que después de transcurrir una hora, hubo variación en el valor indicado de 50 de un total de 100 micromedidores de los usuarios y el incremento fue de 300L.

Posteriormente, si se calcula que el consumo equivale a 320L según los resultados de la medición directa antes y después de cerrar las válvulas de micromedidores, los 20L de diferencia posiblemente se debe al volumen del consumo de microcaudales que no se puede medir con el medidor o a los errores instrumentales o averías del medidor.

### 7.1.5 Proceso de revisión del caudal mínimo nocturno ( $Q_{mnf}$ ) y la medición directa ( $Q_{directo}$ )

Cuando se realiza la medición directa del caudal mínimo nocturno y del volumen de pérdidas para obtener los datos de indicadores de evaluación de los microsectores, el siguiente es el procedimiento para determinar la necesidad de implementación.

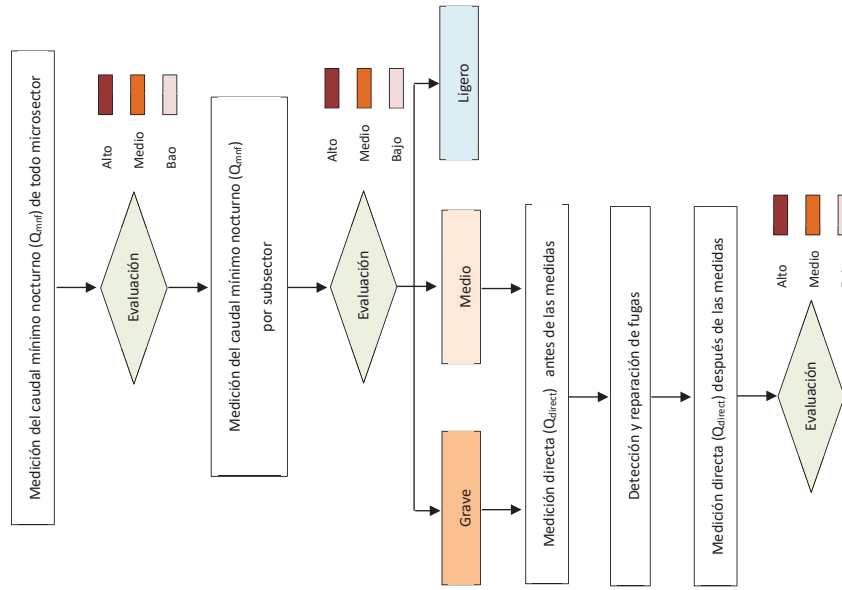
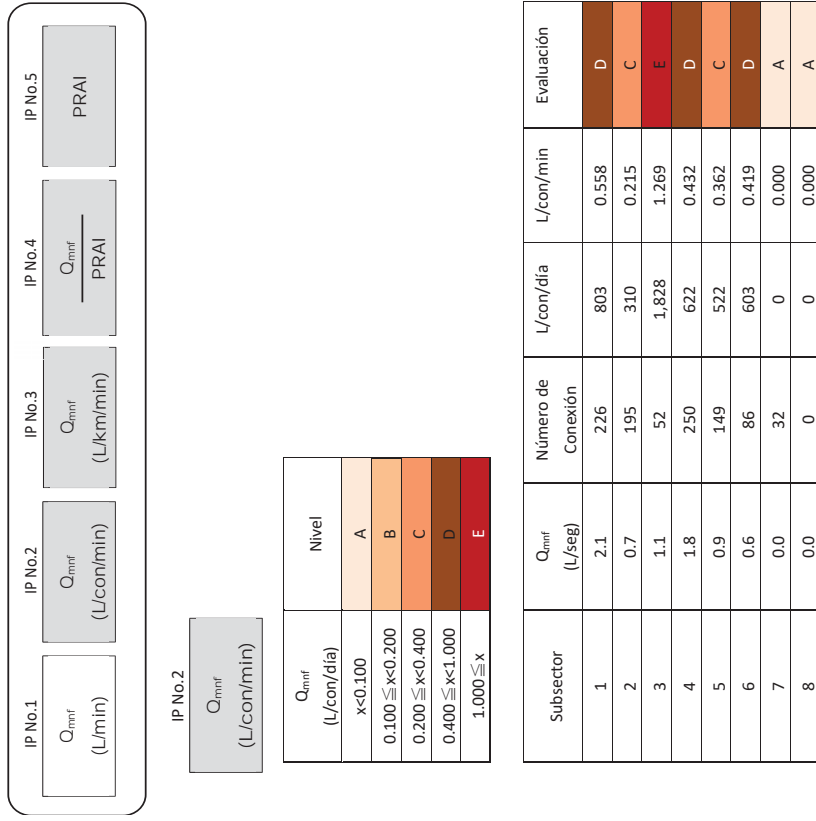


Figura 7.3 Flujo de análisis de  $Q_{mnf}$  y  $Q_{directo}$

### 7.1.6 Ejemplo de la evaluación de los indicadores con caudal mínimo nocturno ( $Q_{mnf}$ )

A continuación, se muestra un ejemplo de la evaluación de las redes de distribución realizada en el microsector MS No.61.



## IP No.3

$$\frac{Q_{\text{mrf}}}{L/\text{km}/\text{min}}$$

PRAI

$Q_{\text{mrf}}$ (L/km/min)	Nivel
$x < 10$	A
$10 \leq x < 20$	B
$20 \leq x < 50$	C
$50 \leq x < 100$	D
$100 \leq x$	E

Subsector	$Q_{\text{mrf}}$ (L/seg)	Longitud de tubería (km)	L/km/min	Evaluación
1	2.1	1.523	83	D
2	0.7	1.962	21	C
3	1.1	0.445	148	E
4	1.8	1.828	59	D
5	0.9	1.112	49	C
6	0.6	0.570	63	D
7	0.0	0.300	0	A
8	0.0	0.000	0	A

## IP No.4

$$\frac{Q_{\text{mrf}}}{\text{PRAI}}$$

IP No.4	Nivel
$1 \leq x < 4$	A
$4 \leq x < 8$	B
$8 \leq x < 16$	C
$16 \leq x < 20$	D
$20 \leq x$	E

Subsector	$Q_{\text{mrf}}$ (L/día)	Número de Conexión	Presión (m)	Longitud de tubería (km)	Longitud de acometida (km)	PRAI (L/día)	$Q_{\text{mrf}}$ /PRAI	Evaluación
1	181,440	226	30	1.523	0.678	6,755	27	E
2	60,480	195	30	1.962	0.585	6,178	10	C
3	95,040	52	30	0.445	0.156	1,605	59	E
4	155,520	250	30	1.828	0.750	7,550	21	E
5	77,760	149	30	1.112	0.447	4,512	17	D
6	51,840	86	30	0.570	0.258	2,565	20	E
7	0	32	30	0.300	0.096	1,002	0	A
8	0	0	30	0.000	0.000	0	0	A

## IP No.5

PRAI

Este indicador es un indicador indirecto y es un valor para calcular el IP No.4.

Las PRAI es el volumen de fugas que no se puede reducir más y se obtiene de la fórmula. Si se logra medir el volumen de pérdidas ( $Q_{\text{ajustado}}$ ) por subsectores, la diferencia entre este valor y las PRAI son fugas residuales que deben ser atendidas por el momento.

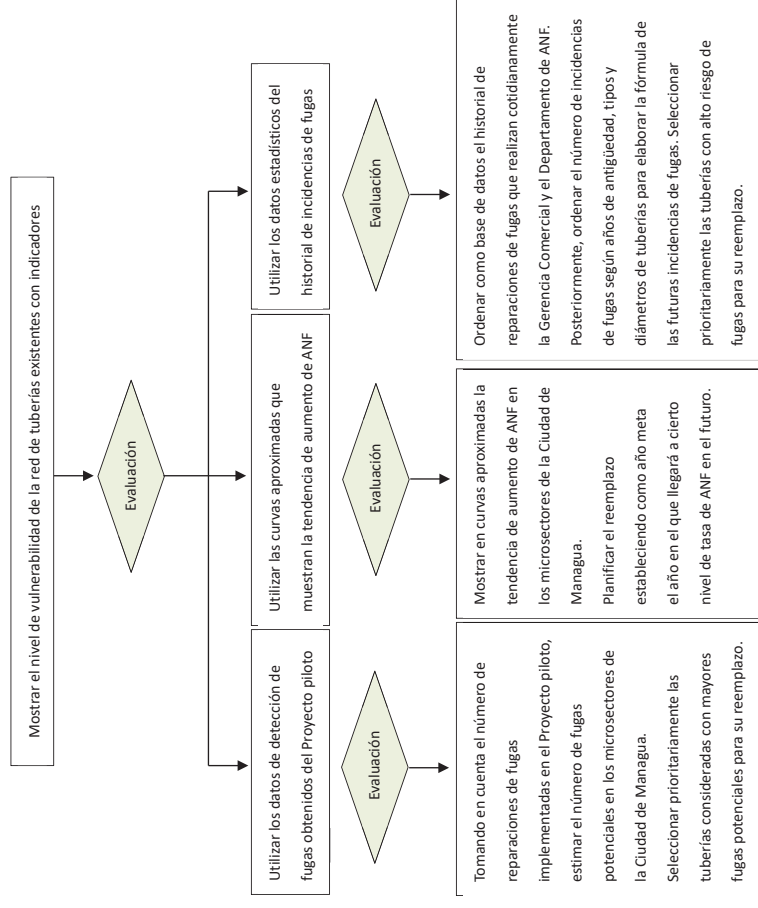
## 7.2 Establecimiento de criterios para el reemplazo de las redes de distribución

En la sección anterior, hemos manejado el caso de determinación de niveles de vulnerabilidad de las redes de distribución utilizando diferentes indicadores.

En esta sección, se muestra el proceso de revisión de los criterios para ir reemplazando las tuberías de distribución de manera programada en el futuro.

- Método de estimación a partir de los datos de detección de fugas obtenidos del Proyecto piloto
- Método de determinación del momento oportuno para el reemplazo mostrando la tendencia de aumento de ANF del Proyecto piloto con curvas aproximadas.
- Método de determinación del momento oportuno para el reemplazo a partir de los datos de reparación de fugas en el pasado incluyendo los tipos y diámetros de tuberías pronosticando la tasa de accidentalidad.

El reemplazo de las tuberías de distribución debe ser implementado de manera programada desde la perspectiva de mediano y largo plazo, por lo que es importante no desatender los datos obtenibles en el trabajo de mantenimiento y control diario, sino acumularlos y utilizarlos para que sirvan en el diagnóstico de tuberías.



Como un ejemplo, estimaremos el volumen de fugas potenciales en otros microsectores a partir de los datos obtenidos del Proyecto piloto realizado del 2017 al 2019.

[Concepto]

Índice de fugas detectadas y reparadas en el área piloto

= Fugas potenciales en los microsectores de la Ciudad de Managua

Los siguientes son los resultados del cálculo de índice de fugas por 1km de longitud de tuberías a partir de los resultados obtenidos de fugas en el área piloto.

**Tabla 7.4** Resultados obtenidos e índice de fugas en el área piloto

Microsector	Longitud de tubería de distribución (km)	Número de fugas		Índice de fugas	
		Tubería de distribución	Conexión domiciliaria	Tubería de distribución (caso/km/año)	Total (caso/km/año)
AZA No.3	13.72	14	106	1.02	8.75
MS No.61	7.74	34	87	4.39	15.63
Promedio	-	-	-	2.71	12.19

Los siguientes son los resultados de la estimación del número de fugas potenciales en 10 microsectores a partir de estos datos.

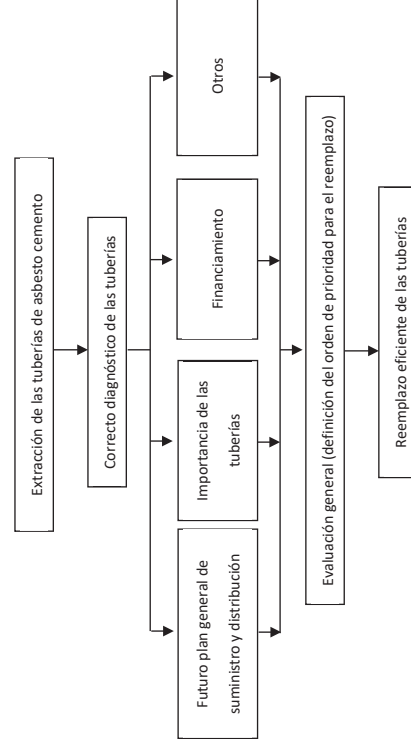
**Tabla 7.5** Número de fugas potenciales en los microsectores

Microsector	Longitud de tubería de distribución (km)	Número de fugas potenciales en tubería de distribución (caso)	Número de fugas potenciales en toda área (caso)
MS No.1	6.67	18	81
MS No.5	6.88	19	84
MS No.8	11.58	31	141
MS No.10	15.94	43	194
MS No.14	7.74	21	94
MS No.19	5.61	15	68
MS No.28	7.81	21	95
MS No.29	7.74	21	94
MS No.52	9.73	26	119
MS No.59	2.56	7	31

### 7.3 Método de diagnóstico del tubo de asbesto cemento

Para realizar eficientemente el diagnóstico de las tuberías, es importante definir el orden de prioridad de las tuberías, y es deseable realizar un diagnóstico de tuberías con tecnologías adecuadas.

Especialmente en caso de la Ciudad de Managua, dicen que más del 40% de las redes de distribución son tubos de asbesto cemento que ya tienen más de 30 años desde su instalación, por lo tanto, es preocupante ya que si dejan pasar más tiempo, pueden provocar graves accidentes debido al deterioro.



**Figura 7.5** Resumen del diagnóstico del tubo de asbesto cemento

Tabla 7.6 Tipos de método de diagnóstico de tuberías

Tipo	Contenido	Labor/Tiempo/Costo	Precisión de diagnóstico
Método de estimación de peligrosidad	Calificar en base a la tasa de accidentalidad de las tuberías en el pasado (casos/km/año). Se requiere acumular los datos de accidentes en el pasado.	Menor	Bruta
Método de estimación de tensión de rotura	Calcular la tensión de rotura residual del cuerpo de tubería utilizando la fórmula de estimación de tensión de rotura inducida de los resultados de la prueba con muestras. Se requiere realizar un análisis químico de la calidad del agua y el suelo.	Mediana	Mediana
Método de diagnóstico de cuerpo de tubería	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prueba de tensión de rotura del cuerpo de tubería</li> <li>• Prueba de neutralización con fenolftaleína</li> <li>• Medición de gravedad específica y tasa de suministro</li> <li>• Medición con sensor de presión en la parte sana con rayos gamma (γ)</li> </ul>	Mayor	Alta

Fuente: Manual para el diagnóstico de tuberías de Asbesto Cemento (1989, Centro de tecnología de tuberías de agua potable, Japón)

El flujo del diagnóstico de tuberías es el siguiente.

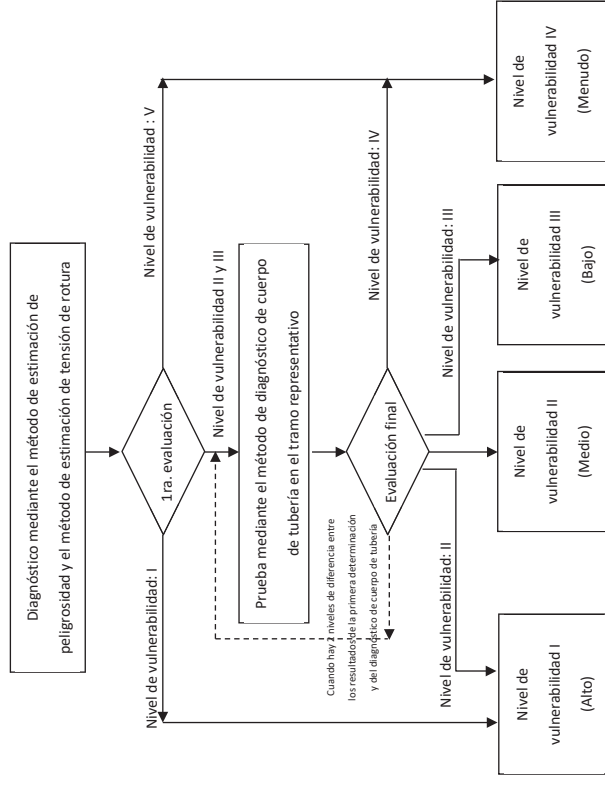


Figura 7.6 Flujo de procedimiento del diagnóstico



En el caso de la Ciudad de Managua, existe poca información de las tuberías existentes, y no está debidamente ordenada la información del historial de fugas y de accidentes en el pasado, por lo tanto, hace falta la información para realizar la primera determinación.

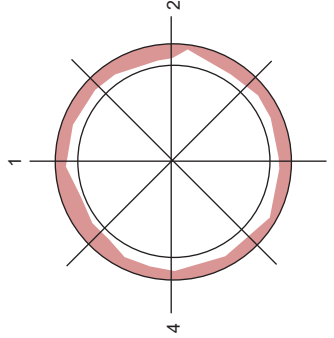


Por esta razón, se realizó la prueba mediante el método de diagnóstico de cuerpo de tubería utilizando las muestras del tubo de asbesto cemento que se obtienen en el trabajo diario como la reparación de válvulas y tuberías, con el objetivo de conocer la situación actual de las tuberías.

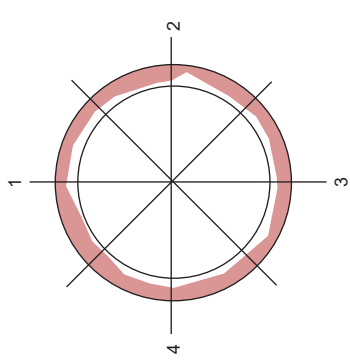


Entre los 4 métodos existentes de diagnóstico cuerpo de tubería, se adoptó la "Prueba de neutralización con fenolftaleína" que es una de las pruebas más fáciles.

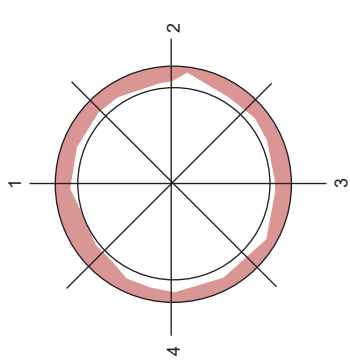


El tubo de asbesto cemento es un tipo de tubo de concreto protegido con elemento alcalino. Con el paso de los años, se desarrolla la neutralización del elemento de cemento, la cual causa el fenómeno de deterioro. Al aplicar la fenolftaleína en la sección del cuerpo de tubería, si el color de esa parte cambia al color rojo púrpura, significa que todavía mantiene el elemento alcalino.

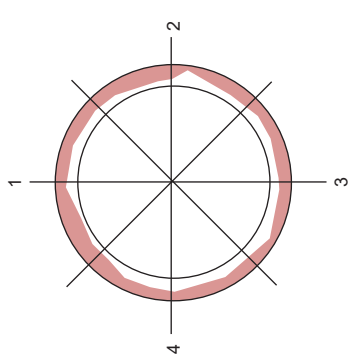


Los siguientes son resultados de la prueba de 4 muestras obtenidas. Una muestra se calificó de Nivel de deterioro III y tres se calificaron de Nivel II. Si el nivel fuera el I, esa tubería requiere ser reemplazada urgentemente.

Como resultados de la prueba, se comprobó que el deterioro avanza firmemente y se reafirmó la necesidad de planificar el reemplazo de las tuberías desde este momento con miras al futuro de 20 años en adelante.

Muestra No.1 DN 150mm Forma A: Pieza de cilindro B: Pedazo cortado de tubo	Croquis de prueba de Neutralización				
					
	Ubicación	1	2	3	4
	Grosor de pared	14mm	14mm	14mm	14mm
	Grosor de neutralización	5mm	6mm	6mm	8mm
	Tasa de neutralización promedio	43%			
Foto					Después de prueba
Grado de vulnerabilidad	Tasa de progreso de neutralización $\chi$ (%)				Evaluación
I (Alto)	$\chi \geq 50$				
II (Medio)	$50 > \chi \geq 25$				✓
III (Bajo)	$25 > \chi \geq 10$				
IV (Menudo)	$10 > \chi$				

Muestra No.2	Croquis de prueba de Neutralización																				
DN: 100mm Forma A: Pieza de cilindro B: Pedazo cortado de tubo																					
	<table border="1"> <tr> <td>Ubicación</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Grosor de pared</td> <td>12mm</td> <td>12mm</td> <td>12mm</td> <td>12mm</td> </tr> <tr> <td>Grosor de neutralización</td> <td>2mm</td> <td>4mm</td> <td>2mm</td> <td>5mm</td> </tr> <tr> <td>Tasa de neutralización promedio</td> <td colspan="4">24.9%</td> </tr> </table>	Ubicación	1	2	3	4	Grosor de pared	12mm	12mm	12mm	12mm	Grosor de neutralización	2mm	4mm	2mm	5mm	Tasa de neutralización promedio	24.9%			
Ubicación	1	2	3	4																	
Grosor de pared	12mm	12mm	12mm	12mm																	
Grosor de neutralización	2mm	4mm	2mm	5mm																	
Tasa de neutralización promedio	24.9%																				
Foto	 																				
Grado de vulnerabilidad	Después de prueba Evaluación																				
I (Alto)	Tasa de progreso de neutralización $\chi$ (%) $\chi \geq 50$																				
II (Medio)	$50 > \chi \geq 25$																				
III (Bajo)	$25 > \chi \geq 10$																				
IV (Menudo)	$10 > \chi$																				

Muestra No.3	Croquis de prueba de Neutralización																				
DN: 100mm Forma A: Pieza de cilindro B: Pedazo cortado de tubo																					
	<table border="1"> <tr> <td>Ubicación</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Grosor de pared</td> <td>12mm</td> <td>12mm</td> <td>12mm</td> <td>12mm</td> </tr> <tr> <td>Grosor de neutralización</td> <td>7mm</td> <td>7mm</td> <td>6mm</td> <td>6mm</td> </tr> <tr> <td>Tasa de neutralización promedio</td> <td colspan="4">52%</td> </tr> </table>	Ubicación	1	2	3	4	Grosor de pared	12mm	12mm	12mm	12mm	Grosor de neutralización	7mm	7mm	6mm	6mm	Tasa de neutralización promedio	52%			
Ubicación	1	2	3	4																	
Grosor de pared	12mm	12mm	12mm	12mm																	
Grosor de neutralización	7mm	7mm	6mm	6mm																	
Tasa de neutralización promedio	52%																				
Foto	 																				
Grado de vulnerabilidad	Antes de prueba Después de prueba Evaluación																				
I (Alto)	Tasa de progreso de neutralización $\chi$ (%) $\chi \geq 50$																				
II (Medio)	$50 > \chi \geq 25$																				
III (Bajo)	$25 > \chi \geq 10$																				
IV (Menudo)	$10 > \chi$																				

<p>Muestra No.4 DN 150mm Forma A: Pieza de cilindro B: Pedazo cortado de tubo</p>	<p>Croquis de prueba de Neutralización</p>  <table border="1" data-bbox="710 1321 837 1859"> <thead> <tr> <th>Ubicación</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Grosor de pared</td> <td>10mm</td> <td>10mm</td> <td>10mm</td> <td>10mm</td> </tr> <tr> <td>Grosor de neutralización</td> <td>2mm</td> <td>5mm</td> <td>4mm</td> <td>6mm</td> </tr> <tr> <td>Tasa de neutralización promedio</td> <td colspan="4">41%</td> </tr> </tbody> </table>	Ubicación	1	2	3	4	Grosor de pared	10mm	10mm	10mm	10mm	Grosor de neutralización	2mm	5mm	4mm	6mm	Tasa de neutralización promedio	41%			
Ubicación	1	2	3	4																	
Grosor de pared	10mm	10mm	10mm	10mm																	
Grosor de neutralización	2mm	5mm	4mm	6mm																	
Tasa de neutralización promedio	41%																				
<p>Foto</p>	 <p>Antes de prueba</p>  <p>Después de prueba</p>																				
<p>Grado de vulnerabilidad</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tasa de progreso de neutralización X (%)</th> <th>Evaluación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I (Alto) <math>X \geq 50</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td>II (Medio) <math>50 &gt; X \geq 25</math></td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>III (Bajo) <math>25 &gt; X \geq 10</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td>IV (Menudo) <math>10 &gt; X</math></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Tasa de progreso de neutralización X (%)	Evaluación	I (Alto) $X \geq 50$		II (Medio) $50 > X \geq 25$	✓	III (Bajo) $25 > X \geq 10$		IV (Menudo) $10 > X$											
Tasa de progreso de neutralización X (%)	Evaluación																				
I (Alto) $X \geq 50$																					
II (Medio) $50 > X \geq 25$	✓																				
III (Bajo) $25 > X \geq 10$																					
IV (Menudo) $10 > X$																					

