

## **ANEXO D. GUIA PARA EL ANÁLISIS TÉCNICO OPERATIVO**

### **ENFOQUE OPERACIONAL**

#### **LAS PERDIDAS DE AGUA EN SISTEMAS DE ACUEDUCTO**

El enfoque bajo este concepto debe ser el de aumentar la eficiencia operativa de la infraestructura existente y establecer una cultura de uso racional del agua, a través de la transformación de la capacidad de gestión operativa y comercial de los operadores mejorando los índices de cobertura, facturación y generación de ingresos así como alcanzar la sostenibilidad en la prestación del servicio.

El entendimiento del origen de las pérdidas en un sistema de distribución de agua, es prerequisite esencial para poder desarrollar programas y actividades encaminadas a su reducción. Tanto así que, si no es posible establecer las causas que las generan, será muy difícil lograr el éxito en la gestión para reducirlas.

De ahí la importancia de desarrollar una estrategia para su desagregación que permita no solo establecer las proporciones entre los niveles de pérdidas técnicas (reales) y comerciales (aparentes), sino poder determinar qué tipo de acciones deberán ejecutarse para disminuirlas.

El enfoque bajo este concepto debe ser el de aumentar la eficiencia operativa de la infraestructura existente y establecer una cultura de uso racional del agua, a través de la transformación de la capacidad de gestión operativa y comercial de los operadores mejorando los índices de cobertura, facturación y generación de ingresos así como alcanzar la sostenibilidad en la prestación del servicio.

El entendimiento del origen de las pérdidas en un sistema de distribución de agua, es prerequisite esencial para poder desarrollar programas y actividades encaminadas a su reducción. Tanto así que, si no es posible establecer las causas que las generan, será muy difícil lograr el éxito en la gestión para reducirlas.

De ahí la importancia de desarrollar una estrategia para su desagregación que permita no solo establecer las proporciones entre los niveles de pérdidas técnicas (reales) y comerciales (aparentes), sino poder determinar qué tipo de acciones deberán ejecutarse para disminuirlas.

El desarrollo del Balance Hidráulico es el primer paso para establecer los volúmenes de agua no facturada y poder gestionar las pérdidas en el sistema de distribución (Balance Hidráulico IWA – International water association). En Julio de 2000, la Fuerza de Tareas en Indicadores de Gestión y Pérdidas de Agua de la IWA, publicó el Balance Hidráulico estándar que se ilustra en la Figura:

**PROYECTO**  
**ELABORACIÓN PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y DISEÑOS DE DETALLE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA, CESAR**

---

VOLUMEN TOTAL SUMINISTRADO	VOLUMEN TOTAL CONSUMIDO	CONSUMO FACTURADO	CONSUMO MEDIDO FACTURADO (incl. Venta en Bloque)	AGUA FACTURADA
		CONSUMO NO FACTURADO	CONSUMO NO MEDIDO Y FACTURADO	
	VOLUMEN DE PERDIDAS	PERDIDAS APARENTES	CONSUMO MEDIDO NO FACTURADO	AGUA NO FACTURADA
			CONSUMO NO MEDIDO Y NO FACTURADO	
		PERDIDAS REALES	USOS NO AUTORIZADOS	
			ERRORES DE MEDICIÓN	
	FUGAS EN EL SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN			
	FUGAS Y REBOSES EN TANQUES			
	FUGAS EN LAS ACOMETIDAS			

Cada uno de los componentes del balance corresponde a volúmenes de agua estimados durante un período de tiempo dado, un mes o un año, definidos de la siguiente manera:

- Volumen de fuentes propias, es aquel suministrado por el propio sistema desde la planta de tratamiento o el sistema matriz de distribución.
- Volumen de agua importada, agua en bloque comprada o adquirida de otro sistema.
- Volumen de agua exportada, agua en bloque vendida a un sistema vecino.
- Volumen suministrado al sistema, es la suma del volumen de fuentes propias y el volumen de agua importada.
- Consumo autorizado, es el volumen de agua medido o no medido que es consumido por usuarios registrados y autorizados implícita o explícitamente por el operador para usos residencial, comercial, industrial o institucional. Se subdivide así:
  - Consumo autorizado facturado, incluye todos los consumos que son autorizados y facturados por el operador, tanto medido como no medido. A su vez está compuesto por:
    - Consumo facturado medido, son todos aquellos consumos facturados a todos los grupos de usuarios (residencial, comercial, industrial e institucional). No incluye venta de agua en bloque facturada.
    - Consumo facturado no medido, incluye todos los consumos facturados que se calculan con base en promedios, estimaciones o normas pero no se miden. Puede ser un componente pequeño en sistemas con buena cobertura de micromedición pero su estimación puede ser clave en sistemas con baja cobertura.

**PROYECTO**  
**ELABORACIÓN PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y DISEÑOS DE DETALLE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA, CESAR**

---

- Consumo autorizado no facturado, son aquellos consumos que no son facturados pero son autorizados por el operador. Se conforma por:
  - Consumo no facturado medido, es el consumo medido que por cualquier razón no se factura. Puede incluir consumos medidos de las instalaciones del operador o agua suministrada a instituciones libres de cobro.
  - Consumo no facturado no medido, incluye todo tipo de consumos que no son medidos ni facturados. Este componente típicamente incluye agua para incendio, lavado de redes de acueducto y colectores de alcantarillado y lavado de calles. Puede ser un componente pequeño que generalmente se sobreestima.
- Pérdidas de agua, es la diferencia entre el agua suministrada al sistema y el consumo autorizado. Se subdivide de la siguiente forma:
  - Pérdidas aparentes o comerciales, incluye todos los tipos de imprecisiones asociadas con la micromedición a los usuarios, los consumos no autorizados (consumos ilegales y clandestinos) y errores en el manejo de información de facturación. Se puede desagregar así:
    - Consumos no autorizados, Incluye la toma ilegal de agua de hidrantes, conexiones ilegales y clandestinas, by-pass en las acometidas y consumos no registrados por manipulación de los micromedidores.
    - Errores de micromedición, son pérdidas aparentes debidas a imprecisión en los micromedidores.
    - Errores en el manejo de datos, son pérdidas aparentes causadas por el manejo de datos durante los procesos de lectura y facturación.
  - Pérdidas reales o técnicas, Son pérdidas físicas de agua en el sistema de distribución generalmente por fugas en tuberías y reboses en los tanques de almacenamiento. Los volúmenes perdidos dependen de la frecuencia, los caudales y la duración de las fugas individuales y los tiempos de reparación de éstas, así como el control de reboses en tanques.
- Agua No Facturada, Son aquellos volúmenes de agua que no representan ningún ingreso para el operador.
- Agua Facturada, Es aquella que se cobra a los usuarios y puede generar un ingreso al operador.

Existen cuatro tipos de actividades dentro de un proyecto integral de reducción de pérdidas reales:

- El control activo de fugas, que consiste en el desarrollo de campañas de localización.
- Velocidad y calidad en las reparaciones.
- Gestión de la presión en el sistema.
- Administración de activos (Selección, instalación, mantenimiento, renovación y reemplazo de tuberías).

## **1. METODOS PARA ELABORAR EL BALANCE HIDRAULICO**

### **1.1. Método descendente (top-down) para el cálculo del Balance Hidráulico**

El método descendente para el cálculo del Balance Hidráulico permite calcular por diferencia las pérdidas reales (técnicas) a partir del conocimiento de los volúmenes consumidos autorizados ya sean facturados medidos, facturados no medidos, no facturados medidos y no facturados no medidos y la estimación de las pérdidas aparentes o comerciales.

En este escenario, el Agua No Facturada se puede calcular como la diferencia entre el volumen total suministrado y el volumen por consumo facturado (medido y no medido). Por lo tanto el Agua No Facturada es posible descomponerla en tres elementos:

- Consumo no facturado
- Pérdidas aparentes (comerciales)
- Pérdidas reales (técnicas)

Así mismo, las pérdidas reales (técnicas) podrán calcularse como el Agua No Facturada menos los consumos no facturados, menos las pérdidas aparentes (comerciales).

#### a. Incertidumbre en la información requerida

**PROYECTO**  
**ELABORACIÓN PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y DISEÑOS DE DETALLE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA, CESAR**

---

Todos los datos asociados al cálculo del Balance Hidráulico y los indicadores de pérdidas, incluyen errores e incertidumbres. No existe el “cálculo perfecto”. Para cuantificar dichas incertidumbres y poder tomar decisiones racionales al respecto, la metodología de la IWA le permite al operador del sistema, priorizar las actividades concernientes al control de calidad de la información y así mejorar la confiabilidad en el cálculo del Balance y los indicadores derivados del mismo.

La incertidumbre puede evaluarse incluyendo límites de confianza en los cálculos lo cual permite priorizar las principales fuentes de error dentro del Balance Hidráulico. (Lambert & Taylor, Water Loss Guidelines, Water New Zeland, 2010). En los sistemas donde todos los usuarios tienen medición, los errores más influyentes son:

- Precisión en los volúmenes de agua suministrada al sistema
- Evaluación de los consumos medidos
- Evaluación del sub-registro en el consumo medido

En sistemas sin micromedición, la evaluación del consumo residencial no medido es la principal fuente de error en el cálculo del Balance Hidráulico.

#### Volumen suministrado al sistema

Es absolutamente prioritaria para el cálculo del Balance Hidráulico la medición de los volúmenes de agua suministrada al sistema, ya que es prácticamente imposible evaluar pérdidas en el mismo sin dicha información. Es recomendable la instalación de un medidor que permita medir en todo el rango de caudales

esperados con una precisión de  $\pm 2\%$  de error. Los equipos de sonda de inserción con precisiones de  $\pm 5\%$  a  $10\%$  de error pueden recomendarse para mediciones temporales pero no como dispositivos de medición permanente. El uso de telemetría para el monitoreo de datos puede ser una fuente adicional de error si no se diseña y calibra adecuadamente, por lo que se considera importante tener registros propios de volúmenes acumulados en el medidor como base de comparación.

Como regla general, un límite del 95% de confianza en la medición de volúmenes suministrados al sistema, exige errores no mayores a  $\pm 2\%$  en los medidores utilizados, de tal manera que no se incremente la incertidumbre en el cálculo de las pérdidas de agua dentro del mismo.

#### Consumos medidos

**PROYECTO**  
**ELABORACIÓN PLAN MAESRO DE ACUEDUCTO Y DISEÑOS DE DETALLE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL**  
**ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA, CESAR**

---

Cuando existe cobertura total de micromedición, pueden existir medidores parados, frenados o que no permiten ser leídos en cuyo caso el consumo debe estimarse. La mayoría de sistemas de facturación no están diseñados para recuperar datos para el cálculo del Balance Hidráulico pudiéndose identificar inclusive errores en el manejo mismo de la información entre el  $\pm 0.5\%$  y el  $\pm 2\%$ .

#### Desfase de lecturas de micromedidores

Existe otra fuente importante de error durante el cálculo de los consumos facturados medidos y es aquel debido al desfase en los ciclos de lectura y el período de cálculo del Balance Hidráulico. Dicho error puede depender entre otros de los siguientes factores:

- La frecuencia de lectura de los medidores
- Las fechas de inicio y finalización del ciclo de lectura
- La naturaleza del ciclo de lectura
- Incoherencia entre rutas de lectura, ciclos y sectorización hidráulica de la red.

#### Sub-registro en consumos medidos

Dentro del cálculo del Balance Hidráulico, el valor asociado a las pérdidas aparentes (comerciales) debidas al sub-registro de volúmenes consumidos medidos, es de gran relevancia. Esto se debe a que como a lo largo de la vida útil del medidor se incrementa el volumen acumulado de agua que ha pasado a través de él, los medidores de desplazamiento positivo tienden a “leer” más lentamente y a sub-registrar el consumo actual.

Por tal motivo se recomienda llevar a cabo pruebas de precisión y cálculo del nivel de sub-registro sobre una muestra cuyo tamaño sea representativo del parque de medidores. En estas pruebas, la precisión total de los medidores deberá asociarse a los promedios ponderados de consumo que representan los perfiles de los usuarios. Como se ilustra a título de ejemplo en la Tabla 1.

**PROYECTO**  
**ELABORACIÓN PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y DISEÑOS DE DETALLE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA, CESAR**

---

Caudal de Prueba	Porcentaje de consumo para este caudal	Error % de medición para este caudal	Resultado de error ponderado
100 lit/hora	10%	X%	0.10*X%
600 lit/hora	75%	Y%	0.75*Y%
1500 lit/hora	15%	Z%	0.15*Z%
			$\Sigma$

Tabla 1. Ejemplo de cálculo de sub-registro de medidores

Estimación de consumos residenciales no medidos

En sistemas que no cuentan con micromedición, la estimación incorrecta de consumos autorizados no medidos, constituye usualmente la mayor fuente de error en el cálculo del Balance Hidráulico, inclusive mayor que los errores asociados al volumen suministrado al sistema.

El consumo de los usuarios puede clasificarse en los siguientes subcomponentes:

- Fugas en acometida dentro de la propiedad
- Fuga en instalaciones internas
- Consumo residencial
- Otros consumos (riego jardines)
- Debido a que no existe medición del consumo residencial, la estimación de dicho consumo se puede hacer mediante el monitoreo de una pequeña área confinada preferiblemente donde el nivel de fugas en las redes exteriores sea el más bajo posible. Sin embargo entre los problemas asociados a esta metodología puede estar el de requerirse tamaños de muestra relativamente altos para lograr niveles de confianza aceptables.

A continuación se presentan algunos elementos clave dentro del cálculo del Balance Hidráulico y la desagregación de pérdidas:

1. Definitivamente la medición de volúmenes suministrados, es indispensable para el cálculo del agua no facturada y las pérdidas técnicas del sistema.
2. Debe promoverse el chequeo en sitio de medidores a través de patronadores portátiles.

3. Mientras mayor sea el número de medidores o caudalímetros, menor será la incertidumbre en los datos.
4. Los operadores deben propender por reducir las incertidumbres a valores menores a  $\pm 2\%$ .
5. Los errores en el proceso de facturación no deberían exceder  $\pm 2\%$ .
6. Los operadores deben ser conscientes de los problemas de información asociados a los ciclos y rutas de lectura de micromedidores.
7. Es esencial la evaluación del nivel de subregistro del parque de medidores del sistema.

### **1.2. Método ascendente (Bottom-up) para el cálculo del Balance Hidráulico**

El uso del método ascendente (Bottom-up) para calcular el Balance Hidráulico, es una aproximación para estimar las pérdidas técnicas y ubicarlas dentro de los componentes de Agua No Facturada, utilizando los caudales mínimos nocturnos y las relaciones caudal-presión. Es importante destacar que el uso de este método en condiciones reales puede ser relativamente complejo particularmente en áreas donde el consumo nocturno es alto o desconocido. (Salim & Manurung)

El requerimiento básico para establecer un adecuado Balance Hidráulico es el aislamiento de ciertas áreas dentro de la red (sectorización), si se tiene en cuenta que en muchos casos las altas pérdidas de agua están estrechamente relacionadas con el conocimiento limitado de las redes existentes y falta de catastros actualizados. Contradictoriamente esta situación dificulta los procesos de aislamiento sectorial. De otro lado, la obtención de información precisa de variables hidráulicas (caudales y presiones) del sistema puede implicar ciertos costos en equipos e infraestructura básica. La preocupación principal deberá ser la de poder establecer un Balance Hidráulico con un nivel aceptable de confiabilidad.

Dentro de la información básica requerida para la aplicación del método ascendente está el caudal entrante al sector o área de estudio a través de su(s) alimentación(es) principal(es), para lo cual se requiere la instalación de un caudalímetro con almacenamiento de información que permita el registro de datos en intervalos de por lo menos 15 minutos y durante un período mínimo de 24 horas. Simultáneamente los patrones de presión deberán ser registrados en varios puntos del área en estudio: en el punto de alimentación, en el punto crítico de servicio y en puntos representativos de la presión media en el sector.



**PROYECTO**  
**ELABORACIÓN PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y DISEÑOS DE DETALLE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA, CESAR**

---

Adicionalmente es necesario conocer el patrón de consumo al interior del sector por lo que se recomienda realizar sobre una muestra representativa de usuarios, tanto de usuarios residenciales y no residenciales). El patrón de consumo obtenido de la muestra podrá aplicarse proporcionalmente a todo el consumo dentro del sector.

El elemento clave para calcular el Balance Hidráulico por el método ascendente (Bottom-up) es el análisis del caudal mínimo nocturno, el cual en sistemas presurizados 24 horas, ocurre generalmente entre las 2:00 a.m. y las 4:00 a.m. dependiendo de cada sistema. Este se asocia con el consumo mínimo nocturno en relación con la reducción de actividades de la población. Durante estas horas se presume que las pérdidas de agua son predominantemente fugas y por lo tanto el caudal mínimo nocturno menos el consumo equivale a las máximas pérdidas reales (técnicas) en el sector de estudio.

Observaciones generales sobre el método ascendente (Bottom-up)

- La evaluación del Balance Hidráulico mediante el método ascendente es un primer paso en la gestión del Agua No Facturada, pero su aplicación es contradictoriamente difícil en sistemas con altas pérdidas de agua, precisamente en los cuales se requiere gran cantidad de información. El primer problema se relaciona con la capacidad financiera de dichos sistemas, en los cuales es difícil y costoso obtener información precisa y confiable para calcular el Balance Hidráulico con este método comprometiéndose la calidad de los resultados.
- Un segundo problema tiene que ver con el monitoreo del consumo y la definición del perfil de consumo debido a los tamaños de muestra requeridos para obtener valores confiables. Muestreos grandes pueden ser costosos y muestreos pequeños pueden incrementar la incertidumbre de los datos.
- En tercer lugar pueden encontrarse las imprecisiones propias del parque de medidores lo cual puede reflejarse en una subestimación de las pérdidas aparentes (comerciales) dentro del análisis del caudal mínimo nocturno. Esto puede ser particularmente crítico en sistemas con intermitencia de servicio en los cuales el patrón de consumo puede ser particularmente alto a lo largo del día, afectando la confiabilidad del análisis.

En sistemas con altos niveles de clandestinidad y fraudulencia la subestimación de las pérdidas aparentes (comerciales) puede ser más crítica ya que se sub-registran los consumos nocturnos.

La combinación de estos problemas, generalmente comunes en sistemas con altos niveles de pérdidas, genera incertidumbres inmanejables en el proceso de cálculo del

Balance Hidráulico, con las correspondientes consecuencias sobre las decisiones que se tomen a partir de él. El uso de los métodos descendente (Top-Down) y ascendente (Bottom-up) no es excluyente. Deben ser más bien complementarios para mejorar la confianza en el Balance Hidráulico finalmente calculado.

## **2. SECTORIZACIÓN DE REDES COMO PLATAFORMA PARA LA GESTION DE PÉRDIDAS**

### ***2.1. Sectorización hidráulica***

La sectorización de las redes de distribución de un sistema de acueducto presurizado permanentemente y con servicio 24 horas, es una práctica cada vez más común dentro de la gestión de sistemas de acueducto, al constituirse como herramienta fundamental para optimizar los procesos operativos que lleva a cabo la entidad operadora.

En general, la sectorización se puede definir como una plataforma operacional para la reducción de pérdidas técnicas y comerciales, que consiste en la delimitación de la red de acueducto en sectores de servicio, homogéneos, aislados e independientes, en los cuales es posible macro-medir los volúmenes suministrados, consolidar los valores facturados, optimizar las condiciones de servicio, calcular el indicadores de pérdidas, establecer las causas de las pérdidas y sus acciones de control, formular proyectos estructurados de control de pérdidas, priorizarlos y hacer seguimientos al comportamiento y a las inversiones de reducción. (Jimenez A., 2002).

El desarrollo de la actividad de sectorización debe llevarse a cabo bajo el siguiente esquema:

1. Planteamiento de objetivos
2. Definición de la red matriz
3. Definición de sectores y subsectores
4. Verificación de límites con el modelo hidráulico preliminar
5. Análisis de operación en condiciones de racionamiento y emergencias
6. Análisis de los aspectos comerciales
7. Proyecciones por sectores, según demografía y urbanismo
8. Materialización en campo

La sectorización se cumple en dos etapas: Una primera etapa en oficina, básicamente de planeamiento, seguida de otra segunda etapa en terreno, en la cual se desarrolla el trabajo programado de obras civiles, accionamientos operativos, planes piezométricos y materialización completa de la sectorización.

La actividad de campo orientada previamente por el estudio previo de oficina, comprende la ejecución de las acciones operativas propias para lograr la materialización en terreno de los límites propuestos. Requiere en primer término verificar la topología de la red en campo sobre la poligonal divisoria de los límites del sector, subsector, distrito y subdistrito.

## **2.2. Criterios generales de sectorización**

En la concepción de sectores se deben considerar los siguientes criterios: (Jimenez A., 2002)

- Disposición de la malla hidráulica en general, que hará parte del sector.
- El límite de cada sector debe elegirse de tal manera que seccione la menor cantidad posible de tuberías de la red.
- Los límites deben en lo posible conformar áreas de forma regular, con trazos rectos para facilitar la identificación de los usuarios.
- Debe evitarse el cierre de válvulas en tuberías de diámetros superiores al mínimo definido para red matriz.
- Adecuar los límites a los accidentes geográficos tales como ríos y cambios topográficos importantes evitando tuberías atravesadas.
- Adecuar los límites a las construcciones u obras importantes como canales, líneas férreas, avenidas, etc, evitando tuberías atravesadas.
- Cuando se trace un límite por áreas no urbanizadas, éste se debe ajustar a los accidentes geográficos que orienten en el futuro la distribución urbanística.
- Limitar el número de tuberías de suministro, dejando aquellas con diámetro suficiente para entregar el caudal requerido por cada entidad, sin desmejorar las condiciones de servicio que prevalecían antes de la suspensión de las alimentaciones menores.
- Los sectores deben considerar y en lo posible armonizar con los límites entre estratos socioeconómicos.

- Los sectores no deben dividir manzanas con líneas imaginarias o irreales de difícil materialización.
- Tener en cuenta la disposición de cuencas o subcuencas hidrográficas de drenaje.
- Adecuar las rutas de lectura de micromedidores a cada sector hidráulico.

### **2.3. Validación de aislamientos**

La validación de los aislamientos físicos de los sectores hidráulicos, es un elemento esencial dentro del proceso de implementación de la sectorización de una red de distribución porque permite definir la estanqueidad hidráulica de cada sector e identificar posibles interconexiones entre ellos.

Tal es la importancia de validar dichos aislamientos que dentro de un proceso de sectorización se recomienda seguir la regla que propone limitar la subdivisión de sectores a niveles inferiores, hasta tanto no se haya verificado su aislamiento y estanqueidad.

### **2.4. Procedimiento**

A continuación se describen las principales actividades a desarrollar antes y durante la prueba de aislamiento de sectores hidráulicos.

Antes de la prueba:

- Generar y/o preparar los planos de las redes correspondientes al área del sector en proceso de validación.
- Verificar modificaciones catastrales o incorporación de nuevas redes en el sector, especialmente cerca de los límites del mismo.
- Notificar a los usuarios sobre el tiempo de corte de servicio previsto durante el proceso de validación de aislamiento.
- Instalar caudalímetros portátiles en la(s) alimentaciones del sector en caso de no existir equipos fijos de medición de caudales.
- Conocer y analizar la información de caudales suministrados al sector antes de iniciar la prueba.
- Socializar con el personal operativo el procedimiento de la prueba y los límites del sector en estudio.

**PROYECTO**  
**ELABORACIÓN PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y DISEÑOS DE DETALLE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA, CESAR**

---

- Realizar verificación física del estado operativo de las válvulas de cierre permanente localizadas sobre los límites del sector en estudio, así como del estado operativo de hidrantes dentro del sector tanto para tomas de presión como para drenaje.

Durante la prueba:

- Iniciar la prueba instalando manómetros de presión en puntos representativos del sector y haciendo lecturas puntuales para conocer la presión media en el mismo.
- Iniciar el corte de servicio mediante el cierre de las válvulas localizadas sobre la(s) alimentaciones principales del sector. Durante este procedimiento es posible comenzar a identificar la zona de influencia de cada alimentación.
- Realizar la apertura de hidrantes de drenaje para agilizar la evacuación del agua dentro de las redes del sector. Dicha apertura debe ser controlada para evitar riesgos de inundación especialmente en las zonas bajas. La apertura de hidrantes en zonas altas, permitirá equilibrar las posibles presiones negativas generadas por el drenaje rápido de las redes.
- Verificar las presiones en puntos estratégicos (hidrantes o conexiones domiciliarias) y preestablecidos a lo largo de los límites del sector, tanto dentro como fuera del mismo, con el objeto de registrar las disminuciones de presión esperadas luego del cierre de las alimentaciones principales.
- Verificar que la presión en los sectores aledaños no varíe durante la prueba y que la presión interna llegue a cero.
- Una vez verificadas las anteriores condiciones, iniciar el cierre de los hidrantes de drenaje y la restitución del servicio mediante la apertura de las válvulas sobre las alimentaciones principales. Los hidrantes localizados en las partes altas de la red deberán permanecer abiertos mientras se desaloja el aire ingresado durante la prueba.
- Verificar la restitución de las condiciones originales de presión dentro del sector.

Problemas durante la prueba:

- La presión interna no disminuye lo que puede significar que el límite está desplazado hacia el interior del sector.

- La presión interna disminuye pero no cae totalmente hasta cero lo cual significa que pueden existir interconexiones con sectores aledaños.
- La presión en sectores aledaños cae a cero lo cual puede significar que el límite esta desplazado hacia el exterior del sector en estudio.
- La presión disminuye tanto afuera como adentro del sector, lo cual significa que el límite no existe hidráulicamente.
- Si se detectan algunas de estas situaciones, deberán verificarse válvulas de cierre permanente, tapones inexistentes, tuberías no incluidas en el catastro. Estas verificaciones deben hacerse preferiblemente durante la prueba.

### **2.5. Sectorización comercial**

Usualmente, los ciclos espaciales de lectura de micromedidores están desfasados geográficamente de los sectores operativos. Es decir las rutas de lectura atraviesan las divisorias de sectorización que definen los límites entre sectores. Si bien es posible aplicar rutinas de cálculo que sumen los consumos facturados por sector operativo, el desfase espacial entre los ciclos de facturación y los sectores operativos, ocasiona que los consumos facturados para usuarios de diferentes ciclos en un mismo sector, correspondan a diferentes períodos de tiempo (desfase temporal).

Estas diferencias en los períodos de facturación entre usuarios del mismo sector, dificultan el cálculo del Índice de Agua No Contabilizada (IANC) por sector operativo, que es uno de los productos principales de la sectorización, puesto que los valores calculados del IANC representan tendencias de comportamiento y no valores absolutos. (Jimenez A., 2002)

### **3. GESTION DE PÉRDIDAS TÉCNICAS (REALES)**

Todo sistema experimenta nuevas fugas cada año, por lo tanto dentro de un proyecto de gestión de pérdidas técnicas o reales es necesario identificar el tipo de actividades que se deben desarrollar. Existen cuatro tipos de actividades dentro de un proyecto integral de reducción de pérdidas reales:

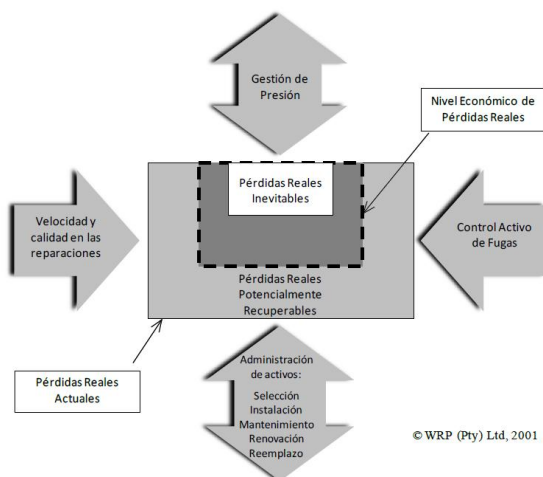
- El control activo de fugas, que consiste en el desarrollo de campañas de localización.
- Velocidad y calidad en las reparaciones.
- Gestión de la presión en el sistema.

**PROYECTO**  
**ELABORACIÓN PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y DISEÑOS DE DETALLE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA, CESAR**

---

- Administración de activos (Selección, instalación, mantenimiento, renovación y reemplazo de tuberías).

En la siguiente Figura, se ilustra cada uno de estos componentes de un programa para la gestión de las pérdidas reales, cada uno de los cuales se describe con mayor detalle en los siguientes numerales.



### **3.1. Gestión de presión**

#### **Conceptos generales**

La mayoría de sistemas de distribución han sido diseñados para atender una presión mínima (generalmente establecida por normas) en todos los puntos del sistema a lo largo del día. Esto quiere decir que la presión mínima ocurre en algún punto crítico que es por lo general el más alto o el más alejado de la fuente de agua. (McKenzie, Pressure Management Program, South African Water Research Commission, Report TT 152/01, 2001).

Los sistemas presurizados con servicio continuo, experimentan fluctuaciones significativas en la demanda con picos en las horas de la mañana y demandas mínimas durante las horas de la noche. Inclusive están diseñados para atender las presiones mínimas durante las horas de demanda pico, en las cuales las pérdidas por fricción son las más altas y las presiones en los puntos de alimentación son las más bajas.

Como consecuencia de estos criterios de diseño, muchos sistemas experimentan presiones más altas que las requeridas durante las horas del día sin demandas pico, lo que se evidencia al observar que en áreas de la red con tendencia a presentar fugas, estas se evidenciarán con mayor facilidad durante las horas de la madrugada.

### **3.1.1. Influencia de la presión en la frecuencia de nuevas fugas**

Las presiones máximas dentro del sistema tienen gran influencia en la frecuencia de aparición de nuevas fugas, en especial en aquellos sistemas alimentados directamente por bombeo, a diferencia de aquellos alimentados por gravedad desde un tanque o reservorio.

Inclusive, sistemas con intermitencia de servicio pueden sufrir entre 10 y 20 veces más por la presencia de nuevas fugas que aquellos que se operan con presiones permanentes. (Lambert A. , What do we know pressure: leakage relationships? Proceedings IWA Conference "System Approach to Leakage Control and Water Distribution Systems Management"., 2001).

### **3.1.2. Identificación de oportunidades para el control de presión**

Para poder evaluar si un proyecto de gestión de presiones es o no conveniente de adoptarse en determinado sistema de distribución, deben desarrollarse algunas actividades que permitan justificar su implementación:

- Trabajo preliminar en oficina para determinar posibles sectores o zonas, puntos de alimentación, etc.
- Análisis de demanda y tipos de usuarios.
- Campañas de medición de caudales y presiones en puntos estratégicos del sistema.
- Modelación hidráulica del sistema incluyendo regímenes de control, para evaluar los beneficios potenciales del proyecto.
- Identificación o selección preliminar de los equipos a utilizar en el proyecto, en especial las Válvulas Reguladoras de Presión (VRP).
- Análisis de costo/beneficio del proyecto.

### **3.1.3. Control activo de presiones**

El objetivo principal del control activo de presiones es el de minimizar las presiones excesivas durante períodos de baja demanda y así reducir las pérdidas por fugas. Muchas veces sin embargo es difícil de alcanzar debido a los requerimientos del sistema para atender flujos contra incendio o por presencia de edificaciones altas, cuyo servicio es atendido directamente con presiones de la red.



**PROYECTO**  
**ELABORACIÓN PLAN MAESRO DE ACUEDUCTO Y DISEÑOS DE DETALLE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL**  
**ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA, CESAR**

---

Al tiempo en que eran desarrolladas nuevas metodologías para estudiar el efecto de la reducción de las fugas a través del control de la presión, en especial aquella denominada BABE (Burst and Background Estimate, desarrollada en Inglaterra en 1994), se presentaban nuevos desarrollos de aparatos, que permitían modular la presión de regulación de una válvula reguladora (VRP). Al utilizar estos controladores, se hizo posible reducir la presión durante períodos de baja demanda sin sacrificar el servicio a los usuarios durante horas de alta demanda.

Existen varios tipos de controladores de válvulas reguladoras, tanto operados eléctricamente como hidráulicamente. Las configuraciones de control más utilizadas hoy en día aunque no las únicas son:

- Presión fija a la salida de la VRP
- Presión modulada por tiempo a la salida de la VRP.
- Presión modulada con base en el caudal demandado, a la salida de la VRP.

La primera opción consta simplemente de una válvula reguladora accionada hidráulicamente con un valor fijo preestablecido de presión a la salida

- Controlador modulado por tiempo

Consta de un equipo temporizador conectado al piloto de control de cualquier VRP para reducir la presión de salida durante ciertas horas del día. Es un dispositivo sencillo que permite “programar” dos o más períodos de control cada día y dos niveles de presión: un nivel alto regido por la VRP propiamente y un nivel bajo regido por el controlador.

Es un método útil para reducir presiones en sistemas con patrones estables de demanda.

La principal aplicación de los controladores temporizados es la reducción de presiones altas durante períodos nocturnos de bajas demandas. Sin embargo uno de los problemas potenciales está asociado a la imposibilidad del dispositivo para reaccionar ante demandas puntuales de caudal por ejemplo las requeridas para atención de incendios desde hidrantes, si estos se presentan durante el período de regulación.

- Controlador modulado por caudal

Otro tipo de controlador es el modulado por caudal, el cual provee mayor flexibilidad y control que aquel modulado por tiempo.

El controlador modulado por caudal controla la presión a la entrada del sistema, de acuerdo con el caudal demandado por el mismo. Durante los períodos de demanda pico, se suministra la presión máxima preestablecida en la VRP, mientras que en períodos de baja demanda la presión se reducirá para minimizar los excesos y de esta manera las fugas asociadas.

El controlador modulado por flujo puede equiparse con una conexión de teléfono, radio, GSM, u otra hasta un punto crítico del sistema donde se tenga lectura de presión, de manera que la presión de entrada se ajuste permanentemente para que no haya excesos de presión en dicho punto crítico.

En la actualidad existen desarrollos de válvulas reguladoras de presión con pilotos dinámicos autoajustables a las variaciones de caudal, que no requieren de controladores electrónicos y que permiten regular la consigna de regulación a las condiciones reales de demanda horaria en el sistema.

La decisión respecto al tipo de controlador que se debe utilizar para la regulación activa de presiones en el sistema, debe basarse tanto en consideraciones técnicas como financieras. Utilizar un modelo hidráulico del sistema, permite predecir los ahorros obtenibles a través de un proyecto de regulación de presiones para varias opciones de control, y por lo tanto permite establecer la que ofrezca mejor retorno de la inversión.

Administrar la presión en el sistema hasta llevarla a valores óptimos, de tal manera que se puedan garantizar adecuados niveles de servicio a los usuarios formales, permite:

- La reducción de fugas actuales y futuras al evitarse los excesos de presión.
- La reducción de la frecuencia de daños en tuberías.
- La ampliación de la vida útil del sistema.

#### **3.1.4. Control activo de fugas**

Cuando un operador de un sistema de acueducto, repara únicamente las fugas y roturas reportadas se dice que realiza un control pasivo de fugas. Sin embargo la mayoría de sistemas presentan fugas y roturas que nunca son reportadas y por lo tanto las actividades de búsqueda, localización y reparación de estas se enmarcan dentro de lo que se conoce como Control Activo de Fugas (CAF). (Lambert & Taylor, Water Loss Guidelines, Water New Zeland, 2010).

**PROYECTO**  
**ELABORACIÓN PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y DISEÑOS DE DETALLE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA, CESAR**

---

La tasa de acumulación de fugas no reportadas varía ampliamente de un sistema a otro, e inclusive dentro del mismo sistema, dependiendo de factores como el tipo de suelo, el estado y la edad de la infraestructura y la presión en la red entre otros. Aún en sistemas con bajas tasas de crecimiento de fugas no reportadas, si no existe un programa de control activo de fugas, el componente de pérdidas técnicas crecerá continuamente modificando los correspondientes indicadores de gestión para este tipo de pérdidas.

El control activo de fugas consiste en “gestionar” y reducir la duración media de las fugas no reportadas mediante su búsqueda, localización y reparación. Aunque una pequeña porción de las fugas no reportadas pueden ser visibles (usualmente en zonas de difícil acceso), la mayoría de estas no lo son y requieren de métodos acústicos para su detección y localización.

El método más común para el control activo de fugas es la geofonía que consiste en pasar una varilla de sondeo, hidrófono, geófono o detector electrónico sobre las tuberías y accesorios. De otro lado está el uso de correladores o equipos que a partir del análisis de los tiempos de viaje del sonido producido por la fuga hacia un par de sensores, puede ubicarla con altos niveles de precisión. En la actualidad existen otros métodos de localización como Sahara® basado en un hidrófono que navega al interior del tubo, halado por un paracaídas que aprovecha la velocidad del flujo para su desplazamiento o el Smart Ball® dispositivo que igualmente viaja al interior de la tubería, se auto localiza y registra los sonidos de las fugas existentes en el tramo de estudio.

Adicionalmente se encuentran métodos de localización tradicionales como:

- Trazadores
- Observaciones de flujo en alcantarillas
- Observación y análisis de hundimientos del pavimento
- Análisis de zonas de baja presión
- Estudio específico de áreas con quejas concentradas de los usuarios

Existen tres tipos de sonido producido por las fugas en tuberías enterradas y presurizadas:

- Vibración y resonancia del tubo por reducción súbita de la presión en el orificio
- Impacto del agua en el suelo circundante

- Circulación del agua en la cavidad circundante a la fuga

A su vez, dichos sonidos dependen de los siguientes factores:

- Magnitud de la fuga
- Diámetro de la tubería
- Presión interna
- Densidad y composición del material alrededor del tubo
- Profundidad de instalación

En pequeños sistemas o en sectores hidráulicos dentro de sistemas grandes, el análisis del caudal mínimo nocturno es una excelente forma de identificar la necesidad de implementar el control activo de fugas. Este análisis debe desarrollarse a partir de la medición permanente o temporal de caudales a la salida de la planta de tratamiento o tanques que alimentan el sistema o en las alimentaciones de cada sector hidráulico.

A continuación se enumeran algunas herramientas que contribuyen al buen desempeño de un programa de control activo de fugas:

- La gestión por distritos de investigación o medición
- La priorización dependiendo del nivel de fugas
- El análisis económico de las intervenciones
- La selección adecuada de tecnologías
- El entrenamiento del personal
- El chequeo posterior a las reparaciones

### **3.1.5. Velocidad y calidad de reparaciones**

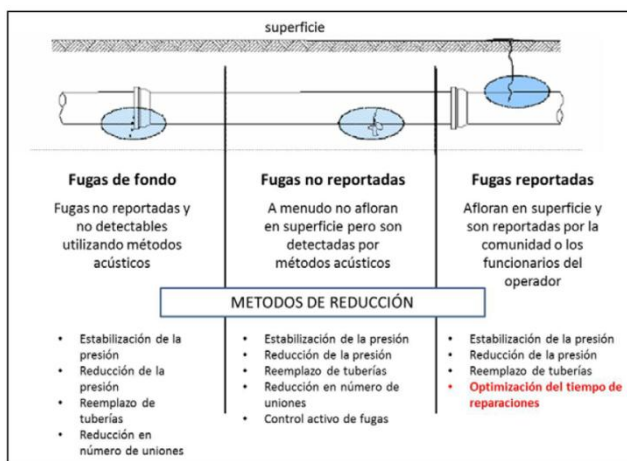
Una de las claves para entender el control de las pérdidas reales o técnicas es el análisis por componentes. El concepto BABE (Background And Bursts Estimates) permite calcular a partir de estimaciones básicas, los componentes que conforman el volumen de pérdidas reales en un período. (Lambert & Taylor, Water Loss Guidelines, Water New Zeland, 2010).

**PROYECTO  
ELABORACIÓN PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y DISEÑOS DE DETALLE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL  
ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA, CESAR**

---

A partir de este concepto, las fugas que ocurren en cualquier sistema de distribución pueden categorizarse de la siguiente manera:

- Fugas de fondo – Pequeñas fugas en uniones y accesorios no detectadas acústicamente.
- Fugas no reportadas – Fugas importantes que no causan problemas aparentemente y son detectadas por métodos acústicos.
- Fugas reportadas – Fugas de grandes caudales que afloran en superficie y son reportadas por la comunidad o los funcionarios del operador.



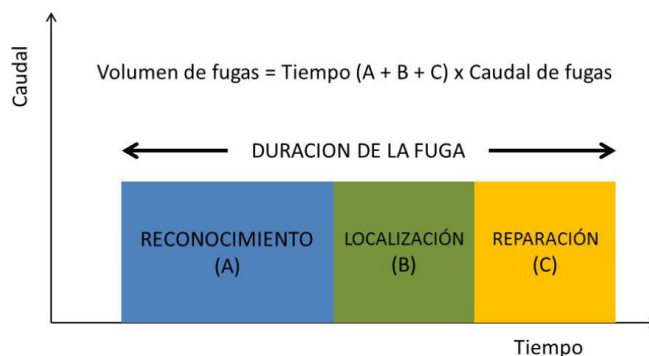
### Clasificación de las fugas, concepto BABE

Un aspecto simple en la gestión de pérdidas técnicas es el manejo de la duración de las fugas y las roturas. El tiempo total transcurrido de las fugas detectables (reportadas y no reportadas) depende de los siguientes aspectos:

- Reconocimiento – Desde el inicio de la fuga hasta que el operador es “consciente” de ella.
- Localización – Tiempo que toma el operador en localizarla.
- Reparación - Tiempo que toma el operador en repararla.

**PROYECTO**  
**ELABORACIÓN PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y DISEÑOS DE DETALLE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA, CESAR**

---



Volumen de fugas en función del tiempo

Si no existen mediciones permanentes de caudales mínimos nocturnos en el sistema, los tiempos de reconocimiento serán muy difíciles de estimar. Sin embargo todo buen operador deberá por lo menos mantener registros confiables de los daños y las reparaciones en la red, para poder establecer los tiempos medios de localización y reparación.

### **3.1.6. Gestión de activos**

(Environmental Protection Agency, EPA, 2008), (Environmental Finance Center, New Mexico Tech, 2006).

En la actualidad las empresas de acueducto presentan diversos retos asociados tanto a la prestación del servicio como al cumplimiento de los estándares impuestos por la normatividad vigente y las regulaciones propias del sector de agua potable y saneamiento básico. Entre los retos destacables se enumeran los siguientes:

- Determinar el mejor momento para rehabilitar, reparar o reemplazar activos viejos.
- Aumentar la demanda por el servicio.
- Superar la resistencia al incremento de tarifas.
- Disminución de recursos hídricos y financieros.
- Aumentar las expectativas de servicio de los usuarios.
- Cada vez mayores requerimientos regulatorios.
- Responder a emergencias por fallas en el sistema.
- Proteger los activos del sistema.

**PROYECTO  
ELABORACIÓN PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y DISEÑOS DE DETALLE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL  
ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA, CESAR**

---

### Definición

La gestión de activos dentro de un sistema de acueducto se puede definir como el conjunto de prácticas encaminadas a mantener el más alto nivel de servicio para los usuarios actuales y futuros del sistema, con la mejor relación costo-beneficio, a través de la creación, adquisición, operación, mantenimiento, rehabilitación y disposición de sus activos.

La implementación de un adecuado programa de gestión de sus activos, permitirá a un operador de un sistema de acueducto obtener entre otros los siguientes beneficios:

- Mejorar sus decisiones operacionales.
- Mejorar su respuesta a emergencias.
- Planear adecuadamente futuras reparaciones y reposiciones.
- Aumentar el conocimiento sobre la localización de los activos.
- Mejorar el conocimiento de cuáles son los activos críticos.
- Lograr una operación más eficiente.
- Mejorar la comunicación con los usuarios.
- Lograr mayor aceptación de tarifas.
- Definir cuales inversiones son más productivas para atender las necesidades del sistema.

Un buen punto de inicio para la formulación e implementación de un programa de gestión de activos, es la definición del marco general del programa, compuesto por cinco elementos básicos que le permitirán al operador establecer las actividades principales asociadas a la gestión de activos, con un grado de sofisticación asociado al tamaño propio de cada sistema.

Relaciones y dependencias entre cada uno de los elementos principales del marco general del programa de gestión de activos:

**PROYECTO**  
**ELABORACIÓN PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y DISEÑOS DE DETALLE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA, CESAR**

---



### Estado actual de los activos del sistema

El primer paso de un programa de gestión de activos es conocer su estado actual. Debido a que esta información puede ser difícil de obtener, deberá ser estimada en caso de ser necesario. Como que a través del tiempo los activos se reparan, se rehabilitan o se cambian, este inventario podrá ser cada vez más preciso.

Dentro de este proceso será necesario que el operador de respuesta a las siguientes preguntas:

- Que activos poseo?
  - Aparente obvio pero no siempre fácil de responder.
  - Es necesario establecer el inventario general de activos del sistema.
  - Se requiere la actualización de los catastros de redes.
- Donde están localizados? o Localización geográfica (SIG)
  - Categorización
  - Información visual y fotográfica
- Cuál es su condición? o Calificación de su estado general
  - Condición estructural
  - Condición hidráulica
  - Nivel de eficiencia energética



- Inspección de tuberías (CCTV, Fugas, etc)
- **Cuál es su vida útil remanente? o Unos activos tienen menor vida útil que otros**
  - En el caso de las tuberías: Influye el tiempo de instalación, condiciones del suelo, material, riesgos de corrosión, etc.
  - Equipos electromecánicos: Influyen los tiempos de operación, mantenimiento, etc..
  - Evaluar experiencias propias y registros de daños y mantenimiento.
- **Cuál es el valor de los activos? o Determinar el costo incluyendo depreciación.**
  - Determinar los costos de reemplazo con tecnologías actuales.

### **3.1.7. Nivel de servicio**

Conocer el nivel de servicio requerido para el sistema, permitirá al operador implementar un adecuado programa de gestión de activos además de socializarlo adecuadamente con las autoridades regulatorias, los usuarios y los proveedores. La calidad, cantidad, confiabilidad y los estándares ambientales, son elementos que definen el nivel de servicio y los objetivos de rendimiento del sistema tanto a corto como a largo plazo.

El nivel de servicio requerido puede establecerse no solamente a partir de la normatividad existente, sino a partir de la información de quejas y reclamos de los usuarios. Además debe actualizarse en función de los ajustes regulatorios y la evolución de las tecnologías disponibles. Cabe resaltar que el nivel mínimo de servicio lo definen los entes reguladores.

Dentro de este proceso será necesario que el operador de respuesta a las siguientes preguntas:

- **Cuál es el nivel de servicio que espera el operador, los entes reguladores y los usuarios? o Analizar la demanda actual de los usuarios y su satisfacción con el sistema.**
  - Definir rendimientos medios del sistema. (Niveles de pérdidas, tiempos de atención de daños, atención de quejas de los usuarios, etc.
  - Definir la relación entre costos y servicio. (Costos de producción, transporte, distribución y comercialización)

**PROYECTO**  
**ELABORACIÓN PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y DISEÑOS DE DETALLE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA, CESAR**

---

- Cuáles son las capacidades físicas, hidráulicas y mecánicas de cada uno de los componentes?
- Que debe definirse para establecer el nivel de servicio? o No. Aceptable de daños por km de red.
  - Tiempo máximo entre reportes de daños y su reparación
  - Notificaciones previas a las suspensiones programadas de servicio.
  - Cantidad de interrupciones de servicio no programadas vs. programadas.
  - Pérdidas máximas de agua en el sistema.
  - Caudal máximo producido.
  - Presiones mínimas a horas de máxima demanda.
  - Revisión tarifaria.
  - Capacidad de almacenamiento mínima.
  - Duración máxima de los cortes de servicio.
  - Notificaciones a los usuarios por cortes programados de servicio con X horas de anticipación.
  - Expectativas de reducción de pérdidas.
  - Realizar análisis comparativos con estándares de buenas prácticas operacionales.

### **3.1.8. Activos críticos**

Debido a que los activos fallan, es de vital importancia la forma en que el operador reaccione ante dichas fallas. No todos los activos presentan el mismo riesgo de falla o son igualmente críticos para la operación del sistema, por lo tanto es importante conocer cuales activos se requieren para sostener el rendimiento del mismo.

Los activos críticos son aquellos que el operador identifica como aquellos con alta vulnerabilidad o riesgo de falla y con mayores consecuencias para el rendimiento del sistema, por lo tanto deberá clasificarlos adecuadamente según su criterio.

**PROYECTO**  
**ELABORACIÓN PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y DISEÑOS DE DETALLE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL**  
**ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA, CESAR**

---

Para determinar la criticidad de cada activo, el operador deberá tener en cuenta:

- Frecuencia de fallos.
  - Edad del activo
  - Evaluación de su estado
  - Historia de fallos
  - Experiencia general sobre el comportamiento del activo.
- Consecuencias del fallo.
  - Nivel de impacto en la prestación del servicio.
  - Costos comerciales
  - Costos de reparación/reposición
  - Costos sociales
  - Costos operacionales
  - Costos legales/daños colaterales
  - Costos ambientales

Los activos que tienen la mayor probabilidad y grandes consecuencias por fallo, son los más críticos. También se consideran críticos, aquellos activos que están en las siguientes condiciones:

- Activos que tienen altas probabilidades de fallo aunque con pocas consecuencias.
- Activos con bajas probabilidades de fallo pero con grandes consecuencias.
- Activos con probabilidades medias de fallo y consecuencias medias.

El resto de activos se consideran no críticos. La criticidad cambia a través del tiempo, por lo tanto se requieren análisis periódicos.

Para realizar un adecuado análisis de criticidad el operador podrá desarrollar matrices de criticidad como la que se ilustra en la siguiente Figura:

**PROYECTO**  
**ELABORACIÓN PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y DISEÑOS DE DETALLE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA, CESAR**

---

Multiplicación		Consecuencia de fallo (costos)				
		1	2	3	4	5
Probabilidad de fallo	1	1	2	3	4	5
	2	2	4	6	8	10
	3	3	6	9	12	15
	4	4	8	12	16	20
	5	5	10	15	20	25

### **3.1.9. Costo del ciclo de vida**

Los costos de operación y mantenimiento, personal y costos de capital, constituyen la gran porción de los gastos de cualquier operador de sistemas de acueducto. La gestión de activos permite al operador del sistema determinar las opciones de menor costo para proveer un adecuado nivel de servicio a través del tiempo. Un programa de gestión de activos ayudará a tomar decisiones basadas en el riesgo a través de la selección adecuada de proyectos y en el momento correcto.

Existen cuatro opciones básicas tratar o atender los activos del sistema a través del tiempo:

- Operar y mantener los activos existentes
- Reparar los activos cuando fallan
- Rehabilitar los activos
- Reemplazar los activos

Estas opciones no son excluyentes; por el contrario están totalmente relacionadas.

### **3.1.10. Operación y mantenimiento de activos**

Incluye funciones relacionadas con la gestión del día a día, particularmente relevantes para aquellos activos de corta vida (bombas), donde el deterioro por falta de mantenimiento regular puede resultar en fallos evidentes.

Los procedimientos operacionales se clasifican en:

- Operación estándar
- Operación alterna
- Operación de emergencia

Los procedimientos de mantenimiento se clasifican en:

- Mantenimiento correctivo (reparaciones)
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo

En la priorización de procesos de mantenimiento debe tenerse en cuenta la criticidad del activo.

#### **3.1.11. Reparación de activos**

Existe un balance entre cuanto gastar en mantenimiento, reparación o reemplazo del activo para alcanzar la mayor eficiencia del sistema. Al desarrollar el cronograma de reparaciones del sistema, el operador deberá determinar su propio criterio entre reparación vs. Reemplazo de activos.

#### **3.1.12. Rehabilitación de activos**

Cuando el activo falla o está próximo a fallar, generalmente se reemplaza. Sin embargo existe la opción de rehabilitarlo, lo cual le permite volver a su condición útil. Ej. Revestimientos en tuberías.

#### **3.1.13. Plan de financiación a largo plazo**

La toma de adecuadas decisiones financieras y la definición de estrategias de financiamiento a largo plazo, son aspectos críticos en la implementación de un programa de gestión de activos. El adecuado conocimiento de los costos del sistema así como de sus fuentes de ingresos, permite al operador establecer sus previsiones financieras, las cuales ayudaran a establecer que cambios se requieren dentro de la estrategia de financiamiento a largo plazo.

El operador deberá tener claridad sobre sus costos de inversión, administración, operación y mantenimiento; así como de sus fuentes de financiación:

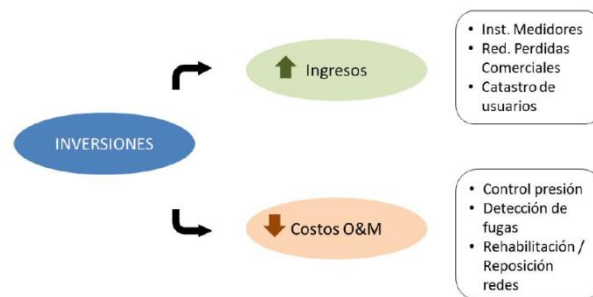
- Facturación por prestación del servicio o Cargos fijos
  - \$ / m<sup>3</sup>
  - Subsidios

**PROYECTO**  
**ELABORACIÓN PLAN MAESRO DE ACUEDUCTO Y DISEÑOS DE DETALLE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA, CESAR**

---

- Actividades complementarias o Conexiones
  - Reconexiones
  - Nuevas acometidas
  - Suspensiones
  - Medidores

Deberá además evaluar el impacto de las inversiones en los costos de operación y mantenimiento identificando aquellas que permitan el aumento de los ingresos y aquellas que impacten en la disminución de costos de operación y mantenimiento, como se ilustra en la siguiente figura:



Así mismo el operador deberá cuestionarse sobre los siguientes aspectos:

- Existen los fondos suficientes para mantener los activos que permiten un adecuado nivel de servicio?
- Es sostenible la estructura tarifaria para las necesidades del sistema a largo plazo?

Deberá considerar entonces las siguientes estrategias:

- Revisar la estructura tarifaria
- Crear un fondo de reserva a partir de los ingresos actuales
- Financiar la rehabilitación, reparación o reemplazo de activos a través de préstamos u otras fuentes de financiación.

#### **4. GESTION DE PÉRDIDAS COMERCIALES (APARENTES)**

Mientras que las pérdidas técnicas o reales generan gastos al operador debido a la pérdida de agua propiamente dicha, las pérdidas aparentes o comerciales significan una reducción de sus ingresos si se entiende que este tipo de pérdidas se relacionan con agua consumida, por la que finalmente el operador no tiene oportunidad de facturar ni cobrar. La fuerza de tareas en pérdidas de agua de IWA ha establecido cuatro componentes que constituyen las pérdidas aparentes en un sistema de distribución de agua, las cuales se ilustran en la siguiente figura:

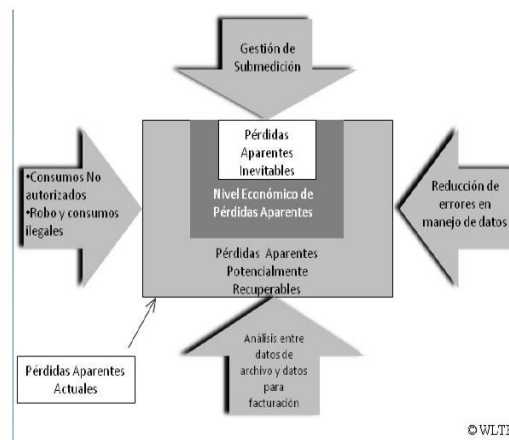


Figura 7-1 - Componentes de las pérdidas aparentes o comerciales

Dichos componentes son los siguientes y se describirán detalladamente en los siguientes numerales:

- Sub-medición de consumos
- Consumos no autorizados (robo de agua)
- Errores en manejo de datos de lectura
- Errores en manejo de datos de facturación

##### **4.1. SUB-MEDICIÓN DE CONSUMOS**

Lo que no se mide... no se controla y por lo tanto la medición del consumo de los usuarios es un elemento esencial dentro de las buenas prácticas asociadas al control de pérdidas comerciales en un sistema de acueducto. La ausencia de medición impide al operador del sistema conocer las condiciones reales de la demanda por consumo de sus clientes.

Inclusive en un sistema con una adecuada cobertura de micromedición existe un componente de pérdidas comerciales asociado a la inhabilidad del parque de medidores de registrar con adecuada precisión los caudales reales de consumo de los usuarios, el cual se conoce como “nivel de sub-medición”. Esta situación tiende a agravarse con el tiempo debido a la “degeneración” de la condición metrológica de los medidores. El conocimiento y determinación del nivel de sub-medición es un paso esencial hacia la determinación de los componentes de pérdidas aparentes o comerciales en el sistema de acueducto.

En este aspecto, el artículo 2.1.1.4 de la Resolución CRA 151 de 2001 “Verificación de la condición metrológica de los medidores” reza lo siguiente: “Las personas prestadoras del servicio de acueducto deben definir las acciones y su periodicidad, orientadas a verificar el adecuado funcionamiento de los medidores, atendiendo las particularidades de su sistema, con base en estudios técnicos.....”

Así mismo el artículo 2.2.1.4 de la misma resolución “Calibración de medidores” reza: “Las personas prestadoras del servicio público domiciliario de acueducto, en ejercicio de lo dispuesto en el artículo 145 de la Ley 142 de 1994, efectuarán directamente o a través de terceros, utilizando laboratorios debidamente acreditados por la entidad nacional de acreditación competente para el efecto, el control metrológico del equipo de medida, con la frecuencia y oportunidad necesarias, según las particularidades de su sistema y en los casos que establezca la normatividad vigente”.

Sin perjuicio de lo que dicta la ley, el establecimiento del nivel de sub-medición es una buena práctica hacia la determinación de los volúmenes de agua que se están dejando de registrar y facturar y por lo tanto es la base para tomar decisiones acertadas en los procesos de reposición y/o actualización del parque de medidores. La mejor forma de adelantar un análisis del nivel de sub-medición es realizar paralelamente un estudio del “perfil de consumo”.

#### **4.1.1. Análisis del perfil de consumo y del nivel de sub-medición**

Consiste en un completo estudio estadístico del parque de medidores a partir de una muestra representativa obtenida del catastro de usuarios y la base de datos de facturación. Involucra todos los datos representativos del parque de medidores, como: marca, tipo, modelo, clase metrológica, edad, diámetro, y cualquier otra sub-población que se considere necesaria dentro del análisis. Los resultados de estos análisis permitirán al operador, calcular el retorno sobre la inversión por reposición de los medidores en función del aumento de los volúmenes a facturar. (Polindara, 2012).

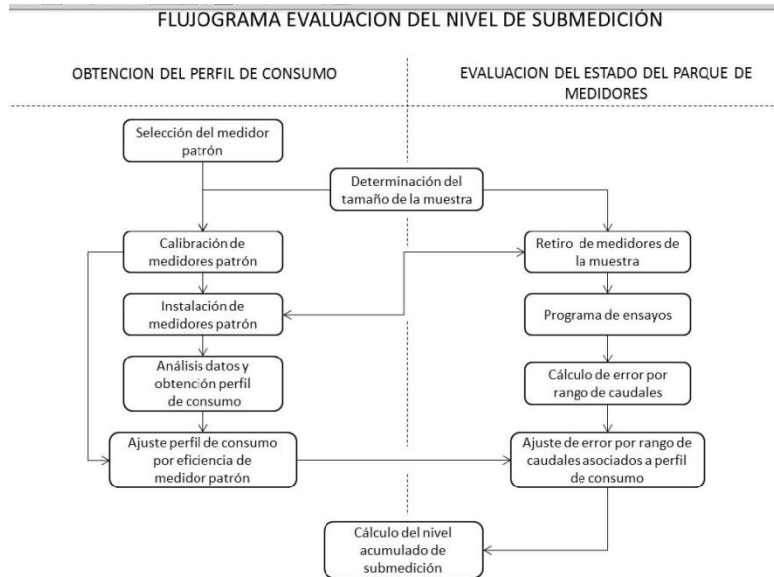
En la siguiente Figura se presenta el flujograma de procesos sugeridos para realizar un análisis de sub-medición y perfiles de consumo. Esta información es de referencia



**PROYECTO**  
**ELABORACIÓN PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y DISEÑOS DE DETALLE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA, CESAR**

---

y puede servir como guía para que el operador del sistema implemente dichos procesos, por lo tanto no lo exime de formular e implementar sus propios criterios y metodologías.



#### **4.2. Consumos no autorizados (robo de agua)**

La reducción de los consumos no autorizados o robo de agua implica una decidida y permanente gestión por parte del operador o prestador del servicio de acueducto, cuyas estrategias deben basarse fundamentalmente en un permanente control de los procesos comerciales de la empresa. Por lo tanto, aunque no existe una metodología única para enfrentar este tipo de pérdidas comerciales o aparentes, sí es posible mencionar algunos elementos esenciales que debe tener en cuenta todo operador, los cuales se mencionan a continuación:

- Actualización permanente de la base de datos de facturación y del catastro de usuarios
- Implementación de Sistemas de Información Geográfica que permita consultas en línea
- Normalización de predios
- Penalización de conexiones ilegales
- Desconexión por no pago
- Chequeos puntuales a grandes consumidores

- Regulación del servicio de carrotanques
- Fortalecimiento de valores éticos al personal de lectura de medidores
- Soluciones para asentamientos informales

#### **4.3. Errores en manejo de datos de lectura y datos de facturación**

La reducción de los errores asociados al manejo de datos de lectura de medidores y la facturación de consumos, implica un control continuo de dichos procesos desde la generación de las bases de datos y listados de usuarios objetos de lectura de medidores, hasta la alimentación de la información en un software que procese, almacene e imprima las facturas correspondientes.

Dentro de las prácticas recomendadas para reducir los errores asociados al manejo de datos durante los procesos de lectura y facturación de consumos cabe destacar los siguientes:

- Propender por la implementación de procesos de lectura en línea cuya información se cargue directamente al servidor de la empresa.
- Obtener evidencias fotográficas para el registro de anomalías durante el proceso de lectura.
- Permitir controles en línea (desde la empresa) como complemento a los controles “in situ” durante el proceso de lectura de medidores.
- Implementar en línea, el proceso de pre-crítica para minimizar errores de lectura.
- Realización de la crítica de consumos de manera rápida y automática, apoyada en el software de facturación.
- Establecer controles a través de informes y registro de evidencias de anomalías.
- Ajuste de ciclos y rutas de facturación (coherencia con la sectorización hidráulica si la hubiere).

#### **5. GUÍAS DE PLANEAMIENTO DE PROGRAMAS DE CONTROL DE PÉRDIDAS**

Dentro del planeamiento y desarrollo de un programa de control de pérdidas, es necesario profundizar en el conocimiento de las prácticas operativas y comerciales potencialmente asociadas a las pérdidas de agua en el sistema, tanto aquellas de origen comercial como de origen técnico.

A continuación se presentan algunos de los cuestionamientos que debe hacerse un operador interesado en la gestión y reducción de pérdidas. (Farley & Liemberger, 2010)

**1. Cuánta agua se está perdiendo?**

Para responder esta pregunta, el operador deberá establecer el balance hidráulico de su sistema, para la cual deberá:

- Mejorar las técnicas de medida de caudales y presiones
- Establecer una política de chequeo y calibración de medidores
- Introducir mejoras en los procesos de registro de información

**2. Donde se está perdiendo?**

En este caso el operador deberá establecer el nivel de fugas a través de auditorías a la red y el valor de las pérdidas de origen comercial a través del análisis de sus usuarios.

**3. Porqué se está perdiendo?**

Esto implica la revisión de las prácticas operacionales del sistema, determinando entre otros aspectos:

- Razones históricas
- Prácticas deficientes
- Procesos inadecuados de gestión de calidad
- Materiales e infraestructura defectuosa
- Influencia de políticas inadecuadas
- Ausencia de regulación
- Factores sociales, culturales o financieros.

**4. Como mejorar el rendimiento del sistema?**

Implica desarrollar y/o actualizar una estrategia que incluya:

**PROYECTO**  
**ELABORACIÓN PLAN MAESRO DE ACUEDUCTO Y DISEÑOS DE DETALLE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL**  
**ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA, CESAR**

---

- Actualizar los registros técnico operativos del sistema
- Implementar la sectorización de las redes de distribución
- Implementar el monitoreo y seguimiento de las fugas
- Determinar las causas de las pérdidas comerciales o aparentes
- Iniciar políticas de localización y reparación de fugas
- Diseñar planes de acción a corto, mediano y largo plazo

**5. Como mantener estas estrategias?**

Mediante la capacitación y entrenamiento del personal, a través de lo cual se mejora la toma de conciencia sobre el problema de las pérdidas, se incrementa la motivación, se transfieren conocimientos y destrezas y se introducen mejores prácticas y el buen uso de la tecnología.

**5.1. Estrategia recomendada para la gestión de pérdidas técnicas**

Dentro del desarrollo de una estrategia para la gestión de las pérdidas técnicas en sistemas de acueducto, es indispensable poder categorizar cada sistema de acuerdo con su tamaño en función del número de conexiones de servicio así como de la condición referente a la micromedición de consumos. La Tabla 8-1 ilustra los criterios prácticos recomendados para la evaluación del nivel de pérdidas técnicas. (Lambert & Taylor, Water Loss Guidelines, Water New Zeland, 2010)

TAMAÑO DEL SISTEMA	NO. DE CONEXIONES	CONSUMOS MEDIDOS?	MÉTODOS RECOMENDADOS PARA EVALUAR PÉRDIDAS TÉCNICAS
Grande	>10.000	Si	Balance hidráulico anual
		No	Balance hidráulico anual, análisis de caudal mínimo nocturno por zonas y monitoreo de consumos residenciales
Mediano	2.500 a 10.000	Si	Balance hidráulico anual
		No	Análisis de caudal mínimo por zonas, para chequear balance hidráulico
Pequeño	<2.500	Si	Análisis de caudal mínimo por zonas y/o Balance hidráulico anual
		No	Análisis de caudal mínimo por zonas

En las siguientes tablas se presenta la estrategia general recomendada para la gestión de las pérdidas técnicas en sistemas de acueducto, la cual puede servir como referencia para aquellos operadores que requieran conocer las principales actividades tanto básicas como avanzadas que pueden desarrollarse en este sentido.

**PROYECTO  
ELABORACIÓN PLAN MAESRO DE ACUEDUCTO Y DISEÑOS DE DETALLE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL  
ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA, CESAR**

ACTIVIDAD	CONDICIÓN BÁSICA	CONDICIÓN AVANZADA
Categorización del sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Categorizar el sistema dependiendo de los criterios expresados en la Tabla 8-1.</li> <li>• Identificar los métodos recomendados para evaluar las pérdidas técnicas.</li> </ul>	
Cálculo del balance hidráulico e indicadores de pérdidas técnicas (IFE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuentes de incertidumbre de información en el balance hidráulico como volúmenes suministrados, consumos autorizados y niveles de submedición.</li> <li>• En sistemas sin medición puede existir alta incertidumbre en los consumos reales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducir los niveles de incertidumbre para:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Volúmenes suministrados (instalación caudalímetros).</li> <li>○ Analizar desfase en ciclos de lectura de micromedidores.</li> <li>○ Analizar nivel de submedición.</li> <li>○ En sistemas sin medición realizar campañas de monitoreo de consumos.</li> <li>○ Evaluar consumos autorizados no facturados</li> </ul> </li> </ul>
Medición del caudal mínimo nocturno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A nivel de la red general</li> <li>• Utilizar caudalímetros portátiles</li> <li>• Aforos volumétricos en tanques</li> <li>• Cálculo del IFE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• División de la red en sectores hidráulicos</li> <li>• Macromedición sectorial</li> <li>• Monitoreo continuo en línea</li> <li>• Reporte automático de caudal mínimo nocturno</li> </ul>
Cálculo del actual indicador de pérdidas técnicas IFE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinación de actividades prioritarias basadas en la Tabla 4-4, del presente documento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinación de actividades prioritarias basadas en la Tabla 4-4, del presente documento</li> </ul>
Investigar los tiempos y calidad de reparaciones de daños	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Respuesta lenta y aleatoria a daños reportados y no reportados</li> <li>• Fallas en la reparación de fugas difíciles y fugas pequeñas</li> <li>• Fallas en la reparación de fugas intradomiciliarias en usuarios sin medición</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitorear el tiempo de respuesta a daños reportados y fugas no reportadas</li> <li>• Optimizar recursos para mantenimiento de redes</li> <li>• Identificar y reparar fugas intradomiciliarias en usuarios sin medición.</li> </ul>
Control activo de fugas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intervenciones aleatorias después de presentarse el problema</li> <li>• Detección acústica de fugas sin planeamiento</li> <li>• Uso de tecnologías básicas</li> <li>• Fugas no reportadas por tiempos prolongados</li> <li>• Sin presupuesto para detección</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intervención oportuna cuando se presentan altos niveles de caudal mínimo nocturno</li> <li>• Detección de fugas planeada en sectores con altos caudales mínimos nocturnos</li> <li>• Uso de tecnologías combinadas de detección</li> <li>• Presupuestos de detección basados en análisis de costo-beneficio</li> </ul>

**PROYECTO**  
**ELABORACIÓN PLAN MAESRO DE ACUEDUCTO Y DISEÑOS DE DETALLE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE BOSCONIA, CESAR**

---

ACTIVIDAD	CONDICIÓN BÁSICA	CONDICIÓN AVANZADA
Gestión de presión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se conoce la presión media ni en la red general ni por zonas</li> <li>• No se realiza chequeo de transientes de presión</li> <li>• No se entienden ni aceptan los beneficios del control de presión en la red</li> <li>• Redes sin sectorización y excesos de presión por encima de los estándares de servicio</li> <li>• No se utilizan válvulas de control de presión ni de prevención de transientes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cada sector opera con presiones controladas</li> <li>• La red esta sectorizada y se utilizan válvulas de control de presión</li> <li>• Regimen óptimo de presiones en sectores de la red, o previsión de gestión futura en sectores no optimizados.</li> </ul>
Gestión de activos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No existe información sobre la condición de los activos del sistema</li> <li>• No se tiene información sobre frecuencia de daños</li> <li>• No existe programa de renovación de tuberías</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Registros sistemáticos sobre fallas en la red</li> <li>• Comparación de frecuencias de daños con estándares internacionales</li> <li>• Programas de renovación desarrollados sobre la base de información sobre las condiciones de la red y frecuencia de daños</li> <li>• Política de renovación basada en un Plan de Gestión de Activos</li> </ul>