

## ANEXO A

### METODOLOGIA PARA ELABORAR BALANCE HIDRAULICO DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO

#### ENFOQUE OPERACIONAL

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 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:

|                            |                         |                      |  |                   |
|----------------------------|-------------------------|----------------------|--|-------------------|
| 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   | USOS NO AUTORIZADOS                              | AGUA NO FACTURADA |
|                            |                         | PERDIDAS REALES      | ERRORES DE MEDICIÓN                              |                   |
|                            |                         |                      | FUGAS EN EL SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN |                   |
|                            |                         |                      | FUGAS EN LAS ACCOMETIDAS                         |                   |

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.
  - 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.
- o 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. MÉTODOS 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

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

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 periodo 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.

| 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%                      |
|                  |  |                                      | Σ                            |

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.

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.