

4. ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS

Durante los últimos 10 años se han realizado grandes avances en la determinación y cuantificación de fugas en un sistema de distribución de aguas. La mayoría de estos avances se han basado en la metodología BABE (Background and Burst Estimate) que fue desarrollada por primera vez a mediados de los 90.

Actualmente BABE es aceptado y utilizado ampliamente en todo el mundo.

Desde el desarrollo de BABE muchos otros conceptos se han ido añadiendo para facilitar la gestión de la demanda de agua. En particular, el índice de infraestructura de fugas (ILI, Infrastructure Leakage Index), las fugas reales anuales irreducibles (UARL, Unavoidable Annual Real Losses) introducidas por A. Lambert y la teoría de “trayectos de descarga de área fija y variable” por J. May (FAVAD, Fixed Area Variable Area Discharge).

4.1. Bases de BABE (*Background and Burst Estimate*)

Según la metodología BABE las pérdidas se pueden dividir en tres tipos:

1. Fugas detectadas: Fugas y roturas normalmente con altos flujos pero de corta duración.
2. Fugas de fondo: Fugas pequeñas y no visibles, inaudibles, fluyendo constantemente.
3. Fugas no detectadas: Fugas con flujos moderados, duración variable. Aún no detectadas.

A continuación se muestran dos ejemplos visuales del efecto del control de presión sobre los componentes del nivel de pérdidas económicas de forma simplificada. La figura 2 muestra los tres componentes de BABE.

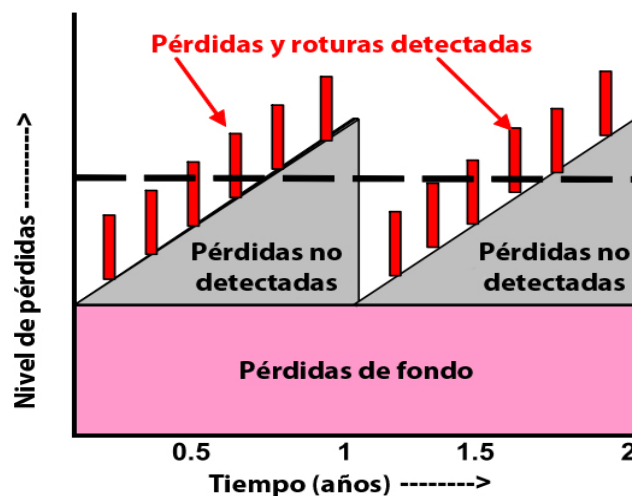


Figura 2: Componentes simplificados de BABE.

Considérese qué ocurre después de la instalación y puesta en funcionamiento de una válvula de reducción de presión. Si los excesos de presión son reducidos, el flujo de las pérdidas existentes y de las nuevas disminuye y, en la mayoría de los casos, el número de nuevas pérdidas y roturas se ve también reducido. La figura 3 muestra este caso:

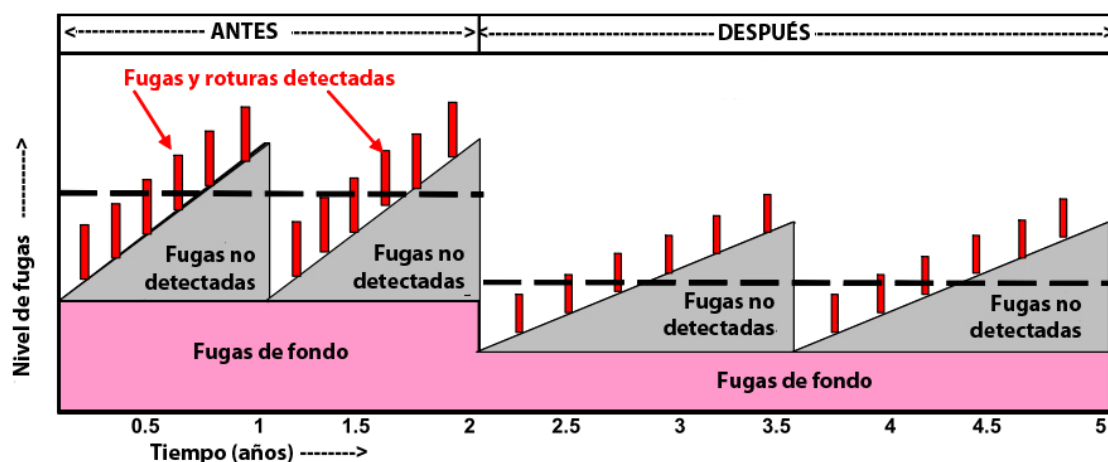


Figura 3: Influencia de la gestión de presión sobre los componentes de BABE.

Las principales consecuencias de la instalación de una PRV son:

- Las fugas de fondo, las más sensibles a la presión, se reducen considerablemente.
- Las fugas y las pérdidas detectadas se ven reducidas.
- La velocidad de incremento de las fugas detectadas también se ve reducido.
- El nivel de fugas medio se ve reducido a la línea discontinua.

La reducción previsible en los gastos anuales antes y después del inicio de la gestión de presión consistirá en tres elementos:

- Volumen correspondiente a la reducción de las pérdidas multiplicado por el coste del agua.
- Reducción del coste anual de las intervenciones si estas disminuyen.
- Reducción del coste anual de las reparaciones si se producen menos fugas y roturas.

Por lo tanto el coste estimado de la implementación de varios métodos de control de presión pueden ser comparados entre ellos, calculando el periodo de retorno de la inversión, y finalmente identificando cuál de ellos es más adecuado.

Los diferentes conceptos de BABE suelen ser aplicados conjuntamente con los principios citados anteriormente:

1. FAVAD: Fixed Variable Area Discharges.
2. UARL: Unavoidable Annual Real Losses
3. ILI: Infrastructure Leakage Index

4.1.1. Umbral mínimo de fugas (UARL)

El umbral mínimo de fugas es la predicción de cuál debería ser el nivel de pérdidas para un sistema específico si toda la infraestructura estuviera en buenas condiciones, con un sistema eficaz de control de fugas y donde las fugas y roturas son reparadas en el menor tiempo posible.

En la práctica es imposible eliminar totalmente las fugas en un sistema de abastecimiento de agua. Siempre habrá un pequeño nivel de fugas y por lo tanto una cierta cantidad de fugas irreducibles.

Muchas veces no es económicamente viable alcanzar el umbral mínimo de fugas. De hecho, el nivel económico de fugas suele estar por encima del umbral mínimo de fugas.

Es lógico suponer que el nivel de pérdidas irreducibles dependerá de cada sistema en particular. Las fugas de fondo son las que predominan sobre el total y un cambio en los índices que corresponden a las roturas que se muestran en la tabla 1 no altera notablemente el resultado.

Tabla 1: Componentes de UARL (Hamilton et al. 2008)

Componente	Fugas de fondo	Roturas reportadas	Roturas no reportadas	UARL Total	Unidades
Tuberías	9.6	5.8	2.6	18	Litros/km tuberías/presión(m)
Conexiones	0.6	0.04	0.16	0.8	Litros/conexión/día/presión(m)
Tubería secundaria	16.0	1.9	7.1	25	Litros/km tubería/día/presión(m)

La tubería secundaria hace referencia a la que une la red principal y de mayor diámetro de abastecimiento hasta el caudalímetro del cliente.

Los valores mostrados en la tabla 1 proporcionan unas bases flexibles para predecir el valor de la UARL para un amplio rango de sistemas teniendo en cuenta la continuidad del abastecimiento, longitud de las tuberías, número de conexiones en el servicio, ubicación de los caudalímetros de los clientes y la presión media de funcionamiento.

Los valores mostrados en tabla anterior pueden ser presentados con una amplia variedad de ecuaciones, tablas, gráficos, ect.

La forma más común de representación se muestra en la ecuación:

$$UARL = (18 \cdot Lm + 0.80 \cdot Nc + 25 \cdot Lp) \cdot P \quad [1]$$

Donde Lm es la longitud del sistema de tuberías en km, Nc el número de conexiones del servicio, Lp la longitud total en km de tubería enterrada entre la tubería principal de abastecimiento y el caudalímetro del cliente, y P es la presión media de funcionamiento.

4.1.2. Índice de fugas irreducibles (ILI)

El índice de fugas irreducibles nos indica en qué grado el sistema de distribución está gestionado y mantenido a la presión de funcionamiento. ILI es el ratio entre el volumen actual de pérdidas (CARL) y el umbral mínimo de fugas (UARL) [2]:

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} \quad [2]$$

ILI se está convirtiendo en un indicador de referencia en muchos países y suele ser utilizado como referencias para comparar el nivel de fugas entre ellos.

La figura 4 muestra valores de ILI correspondientes a diferentes países. Inglaterra presenta el índice más bajo debido a su larga tradición en la gestión de la presión y reducción de fugas. Por norma general cuanto más desarrollado está un país menor será este índice. La escasez de agua presente un país comporta una mayor preocupación por la reducción de las pérdidas y por consiguiente un menor índice ILI.

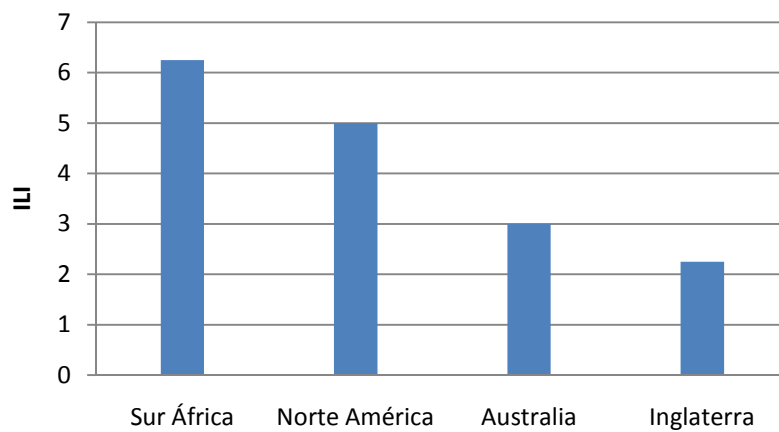


Figura 4: ILI correspondientes a diferentes zonas (Hamilton et al, 2008)

Cuanto mayor sea el índice por encima de uno, mayor será el potencial del sistema para reducir las fugas con una correcta gestión de la presión y mantenimiento de la red.

Es importante remarcar que este sistema posee algunos puntos que se deben tener en cuenta:

- La fiabilidad de la ecuación de UARL es ampliamente cuestionable, antes de su aplicación debe ser verificada.
- La información requerida para calcular el UARL muchas veces no está disponible.
- El sistema de ILI es muy simple y carece de sentido físico.

4.1.3. Trayectos de área fija y variable (FAVAD)

La teoría de FAVAD (Fixed And Variable Area Discharge) de May sobre los “trayectos de descarga de área fija y variable” demostraron que el área transversal de algunos tipos de fugas (agujeros, desgarros o roturas en tubos, juntas o accesorios) podrían variar también con la presión, mientras la velocidad del flujo seguía variando con la raíz cuadrada de la presión. Esto daba lugar a diferentes tipos de fugas en las cuales el caudal (velocidad por área) podía variar con la presión tal como sigue

- Áreas fijas (por ejemplo, orificios en las paredes de tubos metálicos) con un exponente igual 0.5.
- Áreas que pueden variar a lo largo de un eje (típicamente fugas en juntas, accesorios) con un exponente igual a 1.5.
- Áreas que pueden variar a lo largo de dos ejes (grietas en tuberías de plástico) con un exponente igual a 2.5.

Teniendo en cuenta lo anterior, la ecuación [1] se puede expresar de la siguiente manera:

$$Q_f = k_f p^x \quad 0.5 \leq x \leq 2.5 \quad [1]$$

donde x es el exponente de fuga, p la presión estática y k_f el coeficiente de fuga.

Partiendo de esta teoría, el Grupo de Trabajo de Pérdidas de la IWA y el programa de Investigación de la Industria del Agua del Reino Unido (UKWIR, por sus siglas en inglés) recomiendan la adopción de una expresión exponencial simple para representar la relación del caudal de fuga y la presión del servicio. Debido a que no existe una convención internacional para el exponente, el Grupo de Trabajo de Pérdidas de la IWA emplea para su identificación los caracteres alfanuméricos N1; obteniendo de esta forma las siguientes expresiones:

$$Q_f \cong P^{N1} \quad [2]$$

$$\frac{Q_{f1}}{Q_{fn}} = \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{N1} \quad [3]$$

donde Q_{f1} es el caudal de fuga después de la reducción de presión; Q_{fn} es el caudal de fuga antes de la reducción de presión; P_1 es la presión después de implementar su reducción.

El análisis de más de 100 pruebas de campo en secotres de sistemas de distribución de Japón y en zonas hidrométricas en Australia, Brasil, Canadá, Malasia, Nueva Zelanda, Reino Unido y los Estados Unidos han confirmado que el exponente N1 se encuentra generalmente entre 0.5 y 1.5, pero en ocasiones puede alcanzar valores de 2.5. Los japoneses emplean en sus análisis un valor promedio de 1.15. En el Reino Unido, el valor promedio de un número muy importante de estas pruebas arrojó un valor cercano a 1.0. Otras pruebas en sistemas donde la mayor parte son fugas no detectables, han arrojado valores de N1 superiores, cercanos a 1.5.

En los últimos años, se ha realizado un número importante de pruebas de laboratorio sobre muestras de tuberías con roturas o de tuberías con roturas artificialmente creadas (agujeros, ranuras, grietas) de materiales diversos. Para estos casos se han obtenido los siguientes resultados:

Agujeros circulares:

- En tuberías de PVC y metálicas con $Re > 4000$, $N1$ es cercano a 0.5.
- En tuberías de polietileno (PE) y cemento con $Re > 4000$, el valor probable de $N1$ está cerca de 0.5.
- Para agujeros pequeños, $N1$ puede estar entre 0.5 y 1.0.
- En grupos de agujeros formados por corrosión, $N1$ puede ser mayor a 1.0.

Fallas longitudinales:

- Para tuberías de PVC con bajas relaciones Longitud/Ancho, $N1=0.5$
- Para tuberías de PVC con relaciones $L/A=500$, $N1=2.0$
- Para tuberías de cemento, $N1=0.8-1.0$

Es importante recordar que el flujo a través de un orificio se considera laminar para $Re < 10$ y turbulento para $Re > 4000$ (Idelchik, 1975). Para valores intermedios a estos, se tiene la zona de transición en donde el exponente $N1$ puede variar entre 1 (en la frontera laminar/transición) y 0.5 (en la frontera transición/turbulento). Se destaca aquí, que las fisuras pueden tener condiciones de flujo más cercanas a la laminar o de transición que los agujeros circulares o cuadrados, por tener un papel importante en las fugas debido a sus bajos caudales, los flujos en transición puede ser una causa importante de las fugas de fondo, contribuyendo de esta manera a tener un exponente $N1$ mayor a 0.5 pero menor que 1.0.