

# 6.

## INFLUENCIA DEL CONTROL DE PRESIÓN

El control de la presión en un sistema de abastecimiento de agua no solo interviene en la red reduciendo la presión si no que tiene efectos que hacen que sea una de las herramientas más eficaces si se quiere actuar sobre el nivel de fugas o reducir el número de nuevas roturas.

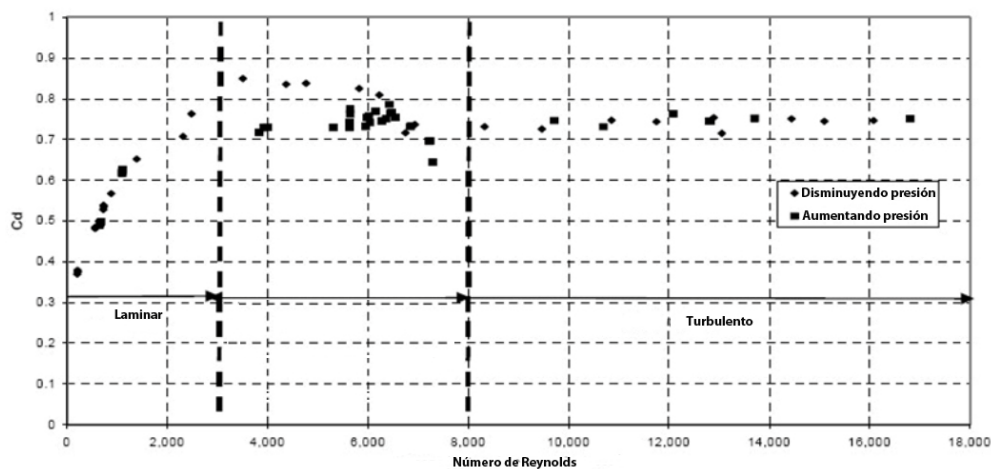
En este capítulo veremos como el control de presión afecta sobre diferentes aspectos de un sistema de distribución.

### 6.1. Influencia del control de presión sobre el caudal de fugas

Durante años, se trabajó con la modelización de las fugas basada en “el principio de la raíz cuadrada”, donde el caudal de fuga  $Q_f$  es proporcional al área de la fuga  $A_f$  y a la velocidad real de salida del fluido,  $V_f$ , que es directamente proporcional a la raíz cuadrada de la presión estática:

$$Q_f = c_D A_f \sqrt{2gh} \quad [1]$$

Donde  $C_d$  es el coeficiente de descarga del orificio. Sin embargo, la suposición acerca de que el coeficiente de descarga es constante no es necesariamente válida para las fugas. Se ha encontrado que este coeficiente es función del régimen de flujo; en la figura 7, se presenta la relación entre el  $C_d$  y el número de Reynolds,  $Re$ , para un orificio de 1 mm en una tubería de cobre de 15 mm de diámetro. Para esta serie particular de resultados; durante flujo laminar, el  $C_d$  aumenta rápidamente hasta 0.8 al aumentar el número de Reynolds. Lo cual implica que las fugas pequeñas son muy sensibles a los cambios de presión dado el cambio de  $C_d$ . En la zona de flujo turbulento totalmente desarrollado el  $C_d$  se mantiene constante con un valor cercano al 0.75; mientras que en la zona de transición, varía entre 0.7 y 0.85.



**Figura 7:** Relación entre el coeficiente de descarga de un orificio y el número de Reynolds. (Lambert, 2001)

Por otro lado, se ha encontrado que el área de fuga también varía con la presión. En un estudio reciente (Cassa et. al, 2005) mediante el método de los elementos finitos modelaron diferentes tipos de fugas en tuberías de PVC (agujeros circulares, grietas longitudinales y circunferenciales) para obtener la relación entre la presión y el comportamiento de las fugas. Se observó que en las grietas longitudinales y circunferenciales el efecto de la apertura de la grieta juega un papel determinante en los caudales de fuga.

Este hecho ya había sido explicado en octubre de 1994, cuando May publicó un artículo (May, 1994) donde dió la explicación física a esta aparente paradoja. 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 podrían variar también con la presión. Esto daba lugar a diferentes tipos de fugas en las cuales el caudal podía variar con la presión. Dada la importancia de esta teoría ha sido explicada detalladamente en el apartado 4.1.3 de la presente tesina como parte del sistema BABE.

A modo de recordatorio la teoría de FAVAD aporta la siguiente relación entre el caudal de fugas y la presión de la red:

$$Q_f = k_f p^x \quad 0.5 \leq x \leq 2.5 \quad [2]$$

Los materiales de las tuberías juegan un papel importante en el comportamiento de las fugas, tanto es así que las propiedades de los materiales determinan la forma en que las tuberías fallan. Ahora, si se tiene en cuenta que las paredes de la tubería asimilan la presión interna del agua, al incrementarse la presión, las fisuras pequeñas que no fugan a baja presión y altas temperaturas pueden abrirse y crear nuevas fugas a una presión mayor. De igual manera, el área de apertura de la fuga se puede incrementar al aumentar los esfuerzos en la tubería. En esta dirección el grupo de investigación en agua de la Universidad de Johannesburgo (van Zyl and Clayton, 2005) ha desarrollado la siguiente expresión para el caudal de fuga a través de un agujero circular en una tubería elástica:

$$Q_f = C_d \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} \sqrt{2g} \left( H^{0.5} + \frac{2c\rho g D}{3tE} H^{\frac{3}{2}} + \frac{c^2 \rho^2 g^2 D^2}{9t^2 E^2} H^{\frac{5}{2}} \right) \quad [3]$$

donde  $d_0$  es el diámetro del agujero,  $D$  es el diámetro de la tubería,  $t$  es el espesor de la pared de la tubería,  $E$  es el modulo de elasticidad del material de la tubería y  $c$  es una constante. Esta expresión muestra claramente que el proceso de expansión del agujero es mucho más complejo que una simple relación exponencial. De datos obtenidos sobre tuberías falladas se cree que el comportamiento de material de la tubería es el que determina que el exponente de fuga sea mayor a 0.5.

Partiendo de un gran número de datos, el Comité de Gestión de Presiones ha desarrollado y verificado un método que permite predecir el valor del exponente  $N1$  a partir del Índice de Fugas Estructurales (ILI) y de un segundo parámetro, el porcentaje de pérdidas físicas detectables que ocurren en tuberías rígidas,  $p_{tr}$ . El valor superior del exponente para materiales flexibles ( $p_{tr} = 0\%$ ) se considera constante e igual a 1.5. El valor mínimo se considera igual a 0.5 para las fugas de fondo. Para los valores intermedios, el exponente se calcula por medio de la siguiente expresión:

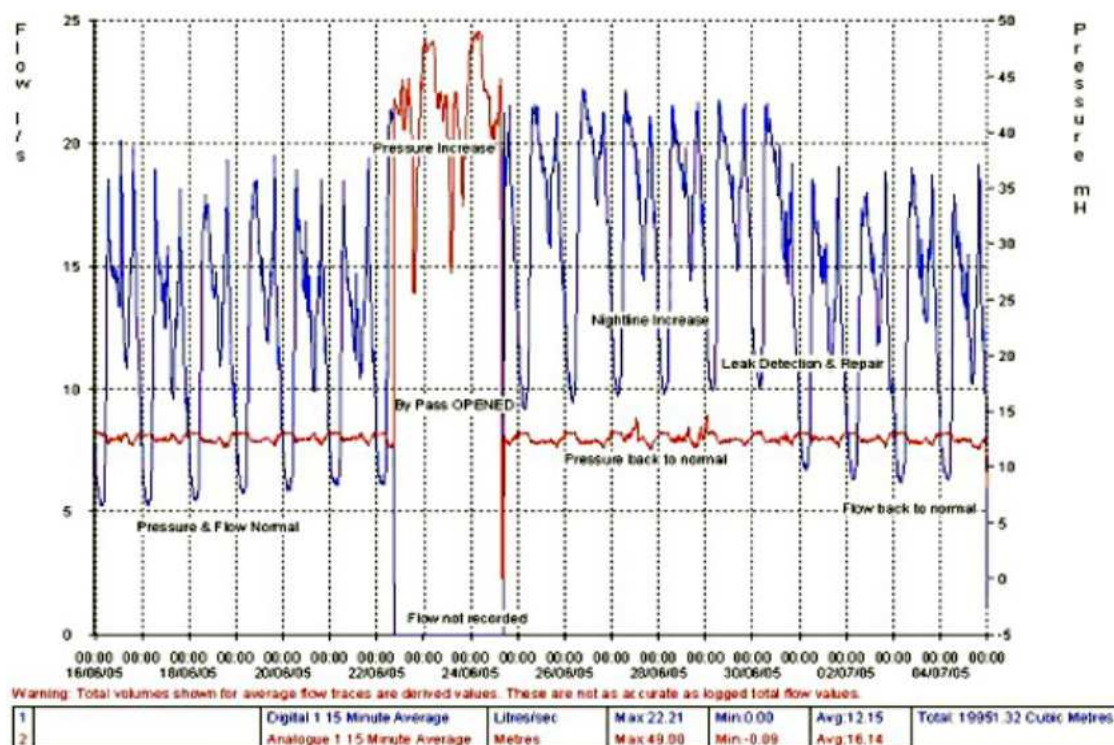
$$N1 = 1.5 - \left( 1 - \frac{0.65}{ILI} \right) \cdot \frac{p_{tr}}{100} \quad [4]$$

Esta relación se ha verificado con valores de N1 obtenidos de pruebas en Australia y Estados Unidos encontrando diferencias entre el 3 y el 8 por ciento con los valores calculados por la expresión [6]. Esto indica que esta aproximación es bastante confiable para predecir N1 si no se cuenta valores de pruebas específicas en el sistema de distribución estudiado.

## 6.2. Influencia del control de presión sobre la frecuencia de aparición de nuevas fugas:

Con la generalización de los distritos hidrométricos en los sistemas de distribución de agua potable, se cuenta hoy con información suficiente que permite aseverar que el efecto de la reducción de presiones no sólo se da en la disminución de los caudales de fuga, sino que además se reduce la frecuencia de aparición de nuevas fugas.

A manera de ejemplo en la figura 8, se presentan los datos registrados de presión y caudal en una estación reguladora de presión, en donde se observa la reacción del sistema al incremento de la presión al retirar la válvula reguladora de presión para su mantenimiento, suministrando el agua a través de un by-pass. Como se puede observar, el resultado de esta maniobra produjo una serie de nuevas roturas en la red de esta zona hidrométrica.



**Figura 8:** Efecto de un by-pass en un distrito hidrométrico (Loveday and Dixon, 2005).

Sin embargo, el estudio de la relación entre la frecuencia de aparición de nuevas fugas y la presión de operación del sistema requiere que se conozca: la historia de roturas antes y después de la implementación del control de presiones por espacio de varios años; la edad, dimensiones, materiales y condiciones de operación de las tuberías en el tiempo; adicionalmente, la distribución espacial de las roturas, la clasificación de las roturas en los componentes del sistema (redes matrices, redes de distribución, conexiones domiciliarias), y la clasificación de las roturas de acuerdo a sus posible causas. Es de esperar que el análisis de

estos factores ofrezca resultados particularmente válidos solo para el sistema en estudio, impidiendo así su generalización.

El Grupo de Pérdidas de Agua de la IWA ha desarrollado la siguiente expresión, para predecir la variación de la frecuencia de aparición de nuevas fugas en función de la presión, similar a la de la variación del caudal de fuga [4]:

$$\frac{R_1}{R_0} = \left( \frac{P_1}{P_0} \right)^{N2} \quad [5]$$

donde R1 es la frecuencia de roturas después de la reducción de la presión, R0 es la frecuencia de roturas antes de la reducción de la presión, P1 es la presión después de implementar su reducción, P0 es la presión antes de implementar su reducción, N2 es un exponente. Esta aproximación da resultados más confiables, que algunos intentos de obtener este tipo de relaciones a partir de análisis estadísticos de la presión y la frecuencia de roturas en un número importante de distritos hidrométricos en el Reino Unido (UKWIR, 2003).

Al analizar algunos datos disponibles en Australia, Reino Unido e Italia se obtuvieron exponentes N2 con valores entre 0.5 y 6.5 (ver tabla 3). Los valores de estos exponentes representan reducciones importantísimas en la frecuencia de aparición de nuevas roturas y en los costos de su reparación, con efectos benéficos adicionales asociados con menores tiempos de permanencia de la fuga, cumplimiento en las reparaciones pendientes, menor frecuencias de intervención en la detección de fugas y disminución de los recursos necesarios para la renovación de la infraestructura.

**Tabla 3:** Valores del exponente N2 (Thornton and Lambert, 2005).

País	Sistema	N2
<b>Reino Unido</b>	UKWIR	<b>&gt;0.5</b>
	Brisbane - Sector piloto	<b>0.5</b>
	Valle Yarra - Sector piloto D	<b>0.64</b>
	Valle Yarra - Sector piloto B	<b>0.68</b>
<b>Australia</b>	Valle Yarra - Sector piloto C	<b>0.91</b>
	Valle Yarra - Sector piloto A	<b>1.55</b>
<b>Reino Unido</b>	Welsh Water, redes matrices	<b>3.0</b>
<b>Australia</b>	Gold Coast - Sector piloto, domiciliarias	<b>4.9</b>
	Gold Coast - Sector piloto, redes matrices	<b>6.3</b>
<b>Italia</b>	Turin	<b>6.5</b>

Se debe mencionar aquí que el Comité de Gestión de Pérdidas está interesado en obtener datos de calidad de sistemas de diferentes partes del mundo que le permitan continuar con esta investigación que se considera prioritaria, pues es aquí donde se pueden obtener importantes ahorros y ventajas operativas gracias a la gestión de presiones.

### **6.3. Influencia del control de presión sobre el consumo:**

La gestión de presiones en un sistema de distribución influenciará en mayor o menor medida las descargas provenientes de la red sujeta a cierta presión de servicio. Por esta razón, dentro del proceso de evaluar alternativas individuales de control de presiones, se debe predecir el efecto sobre el consumo, y por ende, en el ingreso de la empresa abastecedora, de cualquier cambio propuesto en la presión.

La teoría FAVAD vuelve a ser útil aquí, ya que esta ley exponencial simple se puede utilizar no solo para los caudales de fuga, sino que además, es válida para los elementos de consumo final. Por ejemplo, cuando se descarga una cisterna de un sanitario, el llenado de esta se produce a la presión de servicio del sistema. Sin embargo, se pueden encontrar aquí dos situaciones particulares: una en la que el dispositivo de suministro provee un volumen fijo independiente de la presión; y otra, en la que la descarga varía con la presión.

Estos elementos de consumo se pueden modelar por medio del exponente  $N1$ . Para la primera condición  $N1$  es igual a cero; mientras que para la segunda, se emplea el principio de la raíz cuadrada que supone  $N1=0.5$ .

Bartlett (2004) dentro de un estudio de patrones de consumo de un campus universitario en la ciudad de Johannesburgo, Sur-África, obtuvo que la reducción en el valor del exponente  $N1$  a 0.2, sólo se podía explicar por la reacción del usuario que al incrementarse la presión, cierra la llave para obtener el mismo caudal. En el Reino Unido, para diferentes tipos de cisternas, se obtuvieron exponentes entre 0.07 y 0.25. Para diferentes sistemas de riego Cullen (2004), Bamezai y Lessiek (2003) y el mismo Bartlett (2004) obtuvieron exponentes cercanos a 0.5.

Para los grandes sistemas es probable que cualquier caudal mínimo nocturno medido incluya algunos consumos autorizados. Debido a que el exponente combinado de fuga para los elementos de consumo probablemente sea menor a 0.5. Se puede concluir que, los exponentes medidos de fuga en sistemas que están atendiendo la demanda probablemente subestimen el verdadero exponente de fuga, dado que el nivel de la demanda en los caudales nocturnos medidos no difiere significativamente.