

**PRIMER CONGRESO IBEROAMERICANO DE PROTECCIÓN, GESTIÓN,
EFICIENCIA, RECICLADO Y REÚSO DEL AGUA**

**PRIMER SEMINARIO DE UNIVERSALIZACIÓN DEL ACCESO AL AGUA APTA
PARA EL CONSUMO HUMANO**

**DISMINUCION DEL VOLUMEN DE FUGAS REDUCIENDO LA PRESION EN
SISTEMAS FLEXIBLES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE
SUDAFRICA**

Mauro Raúl Iriart

JOAT Group, Sudáfrica, elmauroiriart@hotmail.com

RESUMEN:

Las pérdidas de agua en redes de agua potable es un problema global que requiere adecuadas estrategias cuando se decide reducirlas. Uno de los principales componentes son las fugas en las cañerías, juntas, conexiones y demás elementos de la red. Varios estudios y ensayos realizados en campo han demostrado que el volumen del agua perdida a través de las fugas es directamente proporcional a la presión del sistema. Esto conlleva a que la gestión de la presión sea una herramienta clave a la hora de pensar en reducir dichas pérdidas. En este artículo se analizan ahorros de agua obtenidos a través de la reducción de la presión realizada en distintos redes constituidas principalmente por materiales plásticos.

El análisis se realiza con información obtenida de diversos Sectores de Gestión de Presión (SGP) de diferentes Proyectos de Gestión de Presión llevados a cabo en sistemas de abastecimiento de agua potable de Sudáfrica, en los que se regula la presión a través de Válvulas Reductoras de Presión (VRP). Los ensayos en campo fueron realizados disminuyendo la presión en la red en diversas etapas. Los volúmenes de las fugas fueron calculados como la diferencia entre el caudal mínimo nocturno (CMN) y el consumo en dicho periodo, y a su vez comparados con la presión promedio del SGP de manera de poder estimar el valor FAVAD N1. Además se estimó el Índice Estructural de Fugas (IFE) para cada SGP. Con toda la información obtenida se logra definir la relación entre el volumen de fugas y la presión para sistemas flexibles de abastecimiento de agua.

PALABRAS CLAVES: Perdidas de Agua, Gestión de Presión, Válvula Reductora de Presión

INTRODUCCION

El agua es un recurso vital y las pérdidas de agua un problema global.

El agua perdida por fugas (pérdidas reales) y los volúmenes consumidos sin autorización (perdidas aparentes) junto con el consumo autorizado no facturado constituyen la cantidad de agua no facturada (ANF) en un sistema de suministro. El Banco Mundial estima que la cifra actual para todos los niveles de ANF en el mundo en desarrollo esta probablemente en el rango de 40 – 50 % del agua producida (Ziegler, 2011).

Las pérdidas de agua ocurren en todas las redes de distribución de agua pero por razones técnicas y económicas es imposible eliminarlas completamente, aunque durante los últimos años se ha avanzado mucho tanto en el conocimiento como en la tecnología, de manera que es posible reducirlas dentro de ciertos límites económicos.

Según la Asociación Internacional de Agua (IWA) existen cuatro actividades básicas que ayudan a reducir las pérdidas reales de agua: a) Control Activo de Fugas, b) Gestión de Infraestructura, c) Velocidad y calidad de reparación de fugas, d) Gestión de presión. Si bien las cuatro son importantes, la gestión de presión es la base de una buena estrategia para la reducción de pérdidas reales ya que esta interrelacionada con las otras actividades. Una correcta gestión de presión disminuirá el numero y frecuencia de fugas en la red por lo que ayudara a mejorar la velocidad de reparo de fugas, así como acelerar los trabajos de campo de detección activa de fugas, y finalmente extenderá la vida útil de las cañerías y accesorios lo que conlleva a reducir el reemplazo de infraestructura (Lambert, 2003).

Durante los últimos años se han estado aplicando estos métodos en muchos sistemas, obteniéndose resultados significativos. Uno de los países que con más énfasis se ha avocado a la reducción de las pérdidas reales es Sudáfrica, principalmente a través de la gestión de la presión en sus sistemas de distribución. Este documento pretende presentar los resultados obtenidos en distintas redes de la provincia de KwaZulu Natal en Sudáfrica durante los últimos dos años, en los que se ha reducido la presión a través de la instalación de Válvulas Reductoras de Presión (VRP). Finalmente se presentara una nueva teoría y formulas basada en los resultados obtenidos.



Figura 1.- Los cuatro métodos de intervención principales para la reducción de pérdidas reales de agua, según la IWA.

PERDIDAS REALES

Las pérdidas reales están constituidas de todo el agua que es ingresada en el sistema y que no es consumida por los usuarios, ya que se ha perdido en el proceso de distribución. Según su ubicación se pueden clasificar en tres categorías: fugas y reboses en tanques de almacenamiento, fugas en conexiones de servicio, o fugas en las cañerías de distribución. Es importante aclarar que las pérdidas reales ocurren antes de los medidores de las conexiones de servicio.

Una clasificación importante es realizada debido al tamaño y tiempo de la fuga. El rango de caudales debido a fugas puede variar desde 10 l/h en una canilla goteando, hasta caudales mayores a 10.000 l/h debido a una rotura en una cañería principal. Las de mayor caudal generalmente son las fugas visibles (>500 l/h), las cuales afloran a la superficie por lo cual no necesitan ninguna técnica

especial para su detección y pueden ser reportadas fácilmente. También existen las fugas no visibles las cuales suelen tener un caudal menor a las visibles (entre 250 y 500 l/h), y por no ser visibles requieren de técnicas especiales para su detección. De esta manera las fugas no visibles no son reportadas por lo que pueden perdurar por largo tiempo en la red. Finalmente tenemos las fugas de fondo que están compuestas por fugas muy pequeñas (<250l/h). Este tipo de fugas es no visible por lo que no es reportada, siendo incluso muy difícil de detectar usando métodos acústicos (Thornton, 2008).

Existen cinco factores claves que influyen en el nivel de pérdidas reales, los cuales pueden variar ampliamente según la red que se analice, ellos son:

- Número de conexiones de servicio
- Longitud de la red
- Ubicación de los medidores
- Porcentaje de tiempo en el cual el sistema se encuentra presurizado
- Presión operativa

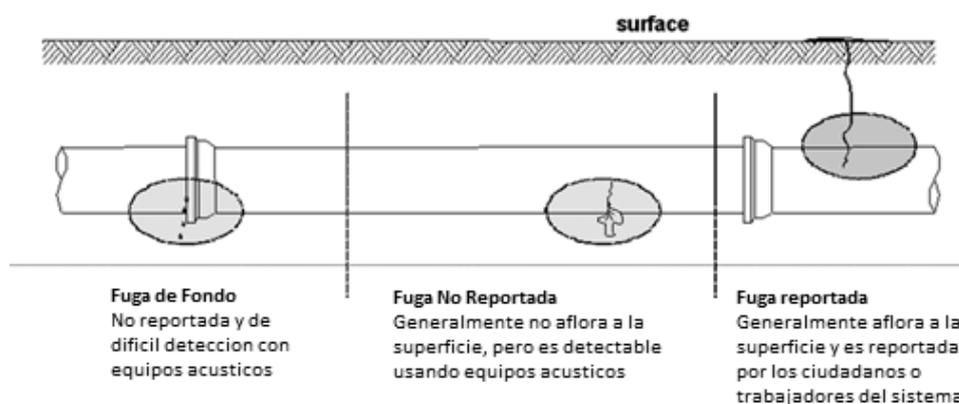


Figura 2.- Componentes de las pérdidas reales (Thornton, 2008)

RELACION ENTRE PERDIDAS REALES Y PRESION

Durante mucho tiempo se trato de cuantificar el caudal perdido por una fuga a través de la conocida formula del orificio, la cual sugiere que el flujo (Q) es proporcional a la raíz cuadrada de la presión (P) multiplicado por el área (A) del orificio disminuida por un coeficiente de descarga (Cd):

$$Q = A \cdot C_d \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot P} \quad [1]$$

Las pérdidas a través de fugas es un problema algo más complejo ya que se pueden tener distintos tipos de fugas: simple orificio (pinchazo en la red), rajadura, rotura total, etc. Además existen diversos materiales los cuales se comportan de manera diversa. Por ejemplo imaginemos una fuga en una cañería de metal, seguramente una variación de la presión no deformara mucho el área del orificio. Si pensamos en una cañería plástica rápidamente podemos darnos cuenta que a mayor presión el área de la fuga crecerá y a menos presión disminuirá, por lo que la fórmula del orificio es de muy difícil aplicación para analizar pérdidas reales de agua en redes de agua.

Diversos ensayos de laboratorio así como información de ensayos de campo sugieren que las perdidas por fugas (F) son proporcionales a la presión de la red (P) y esta proporción es regida por un función de tipo potencial:

$$F \text{ varia con } P^{N1} \quad [2]$$

Donde N1 es el exponente FAVAD N1 (Fixed and Variable Area Discharges, este concepto fue propuesto por John May en 1994), el cual puede variar entre 0,5 y 2,5 según las características del tipo de perdidas y también de la flexibilidad o rigidez del material de la cañería. Entonces si reducimos la presión promedio de P0 a P1, el caudal perdido a través de las fugas cambiara de F0 a F1 y la magnitud de dicho cambio dependerá del exponente N1:

$$\frac{F1}{F0} = \left(\frac{P1}{P0}\right)^{N1} \quad [3]$$

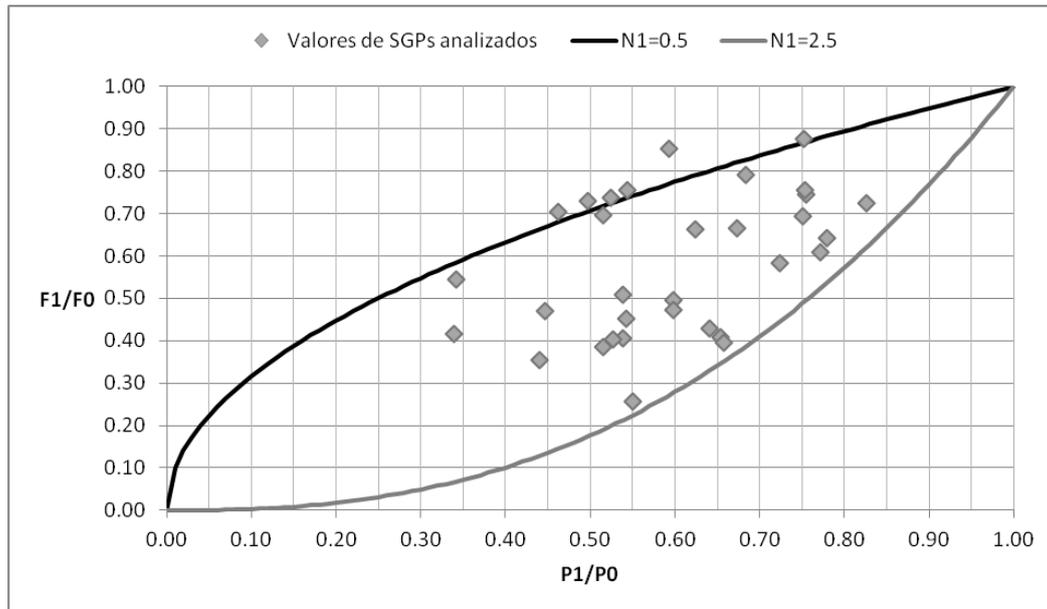


Figura 3.- Relación entre cambios de presión y caudal de fugas, basado en la tradicional “Ley Potencial” para N1=0.5 y N1=2.5. Los puntos representan los valores obtenidos en los sistemas analizados en este artículo.

GESTION DE PRESION

Una correcta gestión de presión con el objetivo de reducir las pérdidas debido a fugas se puede definir como:

“la correcta practica de regular las presiones de la red hasta niveles óptimos que aseguren un suministro eficiente a los usuarios cumpliendo con los estándares de caudal y presión de dicha red; además de eliminar por completo todo tipo de cambio brusco de presiones (Thornton, 2005)”

Cuando se regula la presión en una porción de la red, se la denomina Sector de Gestión de Presión (SGP). Un SGP debe ser discreto, es decir estar separado del resto de la red mediante válvulas de aislamiento o desconectando permanentemente las conexiones a otros puntos de la red. Generalmente tiene solo un punto de ingreso en el cual se instala una válvula reductora de presión (VRP), un sensor de presión aguas arriba (P₁), un sensor de presión aguas abajo (P₂), y un medidor de caudal (Q).

Todo SGP tiene un punto crítico, el cual es el punto de presión más baja (P_{CP}) y puede estar en cualquier parte del SGP, dependiendo de las características particulares de la red tales como topografía, configuración de la red, etc. Así como tendremos parte de la red con presiones bajas, tendremos otra con presiones altas, es por eso que para el análisis y comparación de resultados se usa la presión operativa promedio (P_p) del SGP que se encuentra en el punto promedio de la zona (PPZ) alimentada por la VRP.

Existen cuatro maneras básicas de operar una VRP:

- a) Salida fija: la VRP modula de manera que la presión aguas abajo permanece constante en el tiempo aun con los cambios de flujo (ver figura 4).

- b) Modulación de la presión basada en el tiempo: se configura la VRP de manera de tener distintas presiones aguas abajo durante determinados periodos del día. Generalmente se reduce la presión durante la noche.
- c) Modulación de la presión basada en el flujo: la VRP alimenta la red con distintas presiones dependiendo la tasa de flujo.
- d) Modulación de la presión basada en el punto crítico: la VRP se conecta a través de internet con un sensor instalado en el punto crítico de manera que provee una presión aguas abajo que garantice siempre la presión deseada en dicho punto.



Figura 4.- Izquierda: Válvula Reductora de Presión (VRP). Derecha: Configuración de Salida Fija.

METODOLOGIA

Cientos de VRPs fueron instalados en Durban durante los últimos dos años, la mayoría de ellas de salida fija o de modulación basada en el tiempo. En el presente estudio se analizan 50 casos concretos, cuyas redes están presurizadas los 365 días del año por lo que no presentan suministro intermitente. Además los medidores se ubican antes de la propiedad privada por lo que no se consideran las pérdidas que puedan existir entre la línea de propiedad privada y el medidor en caso que estuviese dentro de la propiedad. Los sectores analizados poseen diversas densidades de conexiones ($D_c = \text{número de conexiones} / \text{longitud de la red}$) que van desde 22 hasta 124 conexiones por km de cañería. En cuanto a la presión operativa se puede mencionar que se analizaron distritos con diversas presiones operativas en un rango entre 43m y 121m (valores medidos antes de realizar la gestión de presión).

Tabla 1.- Características generales de los Sectores de Gestión de Presión analizados.

	Lr [km]	Nc [con]	Dc [con/km]	Pp antes [m]	Pp después [m]	N1 [-]	IFE [-]
Mínimo	0.5	40	22	43	27	0.31	2.0
Máximo	30.7	1079	124	121	75	2.54	26.9
Promedio	5.3	265	58	83	54	1.30	8.5

Para la captura de información en cada SGP se instalaron cinco sensores para obtener: presión aguas arriba (P_1), presión aguas abajo (P_2), volumen de ingreso al sistema (Q), presión operativa promedio (P_p) y presión del punto crítico (P_{PC}). La información fue registrada durante no menos de 7 días antes de la puesta en marcha de la VRP y por el mismo lapso después de comenzada la reducción de presión.

Las características de la red fueron tomadas de las bases de datos de los municipios, así se obtuvo longitud de la red (L_r), material de las cañerías, número de conexiones (N_c), curvas de nivel, etc. Una vez recolectada la información se prosiguió a calcular todos los parámetros para llevar a cabo el análisis.

El volumen de pérdidas reales ($Q_{perdida}$)¹ de cada SGP se obtuvo como la diferencia del caudal mínimo nocturno promedio (CMN) menos el consumo nocturno ($Q_{nocturno}$):

$$Q_{perdida} = CMN - Q_{nocturno} \quad [4]$$

Luego se calculó el factor día/noche (FDN) de manera de considerar las variaciones de presión en la red y así poder determinar el volumen de pérdidas reales diarias ($Q_{perdida,d}$):

$$Q_{perdida,d} = FDN \cdot Q_{perdida} \quad [5]$$

$$FDN = \sum_{i=0}^{24} \left(\frac{P_i}{P_{CMN}} \right)^{N1} \quad [6]$$

P_i Presión promedio en PPZ a la hora "i"
 P_{CMN} Presión promedio en PPZ durante el CMN
 $N1$ Valor Favard $N1$

Para poder comparar diferentes SGPs se pueden estimar las pérdidas por km de cañería o por conexión. Conviene estimar las pérdidas por conexión cuando la densidad de conexiones es mayor a 25 conexiones por km, en cambio que conviene usar por km de cañería cuando la densidad es menor a 25 conexiones por km como ocurre en las zonas rurales (Farley, 2003). Las pérdidas se estimaron por conexión por día (Q_{PCD}) debido a que las zonas estudiadas poseen densidad de conexiones superiores a 25 conexiones por km de cañería:

$$Q_{PCD} = \frac{Q_{perdida,d}}{N_c} \quad [7]$$

Además se calcularon las pérdidas reales inevitables (PRI)²:

$$PRI = (18 \cdot L_r + 0,8 \cdot N_c) \cdot P_p \quad [8]$$

La diferencia entre las pérdidas reales y las pérdidas reales inevitables se conoce como el potencial de reducción de pérdida reales (PRPR). Además la relación entre ambos representa el famoso índice de fugas estructurales (IFE³). Ambos sirven como parámetros para valuar la performance de la red. Debajo son presentadas las formulas:

$$PRPR = Q_{perdida,d} - PRI \quad [9]$$

$$IFE = \frac{Q_{perdida,d}}{PRI} \quad [10]$$

¹ Es necesario destacar que cuando se estiman las pérdidas reales no se tienen cuenta las fugas reportadas ya que se usa el método del caudal mínimo nocturno.

² Vale aclarar que en la formula no se tuvo en cuanto el termino que estima las pérdidas en las longitudes de cañería de servicio privado luego de la línea de propiedad y antes del medidor, esto es debido a que en las redes analizadas los medidores se encuentran instalados antes de la propiedad privada.

³ Si bien el IFE ha sido validado solo para redes con mas de 3000 conexiones, en este articulo fue calculado para todos los SGPs de manera de poder obtener una comparacion extra.

RESULTADOS

La puesta en marcha de los VRPs resultó exitosa, reduciendo y regulando la presión operativa en todos los SGPs así como también reduciendo las pérdidas reales. En las figura 5 y 6 se pueden observar los resultados obtenidos para el SGP “KWD1-2” antes y después de la gestión de presión, en el cual se redujo la presión a través de una VRP con modulación fija. La figura 5 enseña la variación durante un día completo del caudal de ingreso (Q) al SGP, así como también la variación de sus tres componentes básicas: consumo (área gris claro), potencial de reducción de pérdidas reales (área gris oscuro) y las pérdidas reales inevitables (área negra). La figura 6 muestra las variaciones de presión en los puntos más importantes del SGP: a) aguas arriba de la VRP, b) aguas debajo de la VRP y c) punto crítico.

Es importante notar que el consumo aumento de $51,0 \text{ m}^3/\text{día}$ a $52,2 \text{ m}^3/\text{día}$, por lo que no se vio afectado a pesar de la reducción de $33,9 \text{ m}$ de presión en la red (P_P se redujo de $73,5 \text{ m}$ a $39,6 \text{ m}$, lo que equivale a una reducción del $41,6\%$); en cambio las pérdidas reales se vieron claramente disminuidas, reduciéndose de $56,1 \text{ m}^3/\text{día}$ a $22,7 \text{ m}^3/\text{día}$ ($59,5\%$). Vale mencionar que el costo de producción del agua en esta municipalidad en dicho momento era de 4.105 Rands cada 1000 litros , de esta manera esta instalación logra ahorrar alrededor de 50.0000 Rands por año, alrededor de 5400 dólares . El monto del agua ahorrada equivale al costo de la instalación, de manera que el periodo de amortización para esta VRP es aproximadamente 1 año .

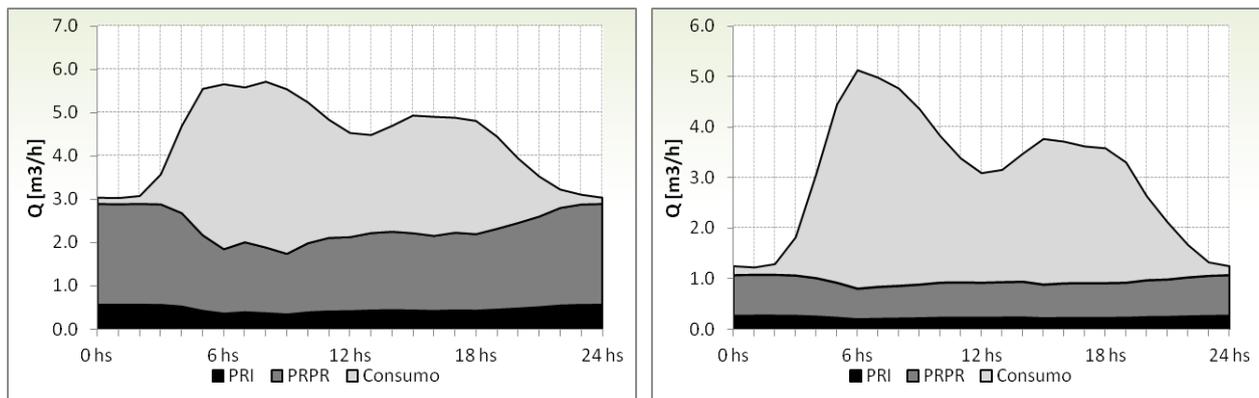


Figura 5. Caudal de ingreso promedio al SGP “KWD3-3” separado en sus tres componentes: consumo, pérdidas reales potencialmente recuperables (PRPR) y pérdidas reales inevitables (PRI). En el gráfico de la izquierda se presenta la situación antes de la gestión de presión, mientras que el gráfico de la derecha presenta la situación luego de puesta en marcha la VRP.

Hay otros dos aspectos interesantes a remarcar: el primero consiste en el incremento de la presión aguas arriba de la VRP, en tanto el segundo es la estabilización de la presión en el punto crítico, sobre todo en las horas pico. El primer fenómeno se debe a que la reducción del caudal de ingreso al SGP conlleva a que el caudal transportado por la/s línea/s de abastecimiento a la VRP sea menor, esta reducción de caudal genera reducción de pérdidas de carga en la/s línea/s de abastecimiento, por lo que se obtiene un incremento de presión aguas arriba de la VRP. El segundo fenómeno se explica por dos causas: a) la primera se debe a la modulación de la VRP la que permite suministrar el caudal necesario de manera de tener siempre una presión fija aguas abajo, y b) la reducción de pérdidas de carga dentro del SGP debido a la reducción de caudal. Es interesante notar que la reducción de caudal dentro del SGP se debe a dos fenómenos: el primero es la reducción de pérdidas reales, en cambio que el segundo se debe a la disminución de caudales de ciertos accesorios tales como lavarropas, inodoros, tanques, etc. En estos el caudal disminuye debido a la disminución de presión de la red, sin influir en el uso de ellos.

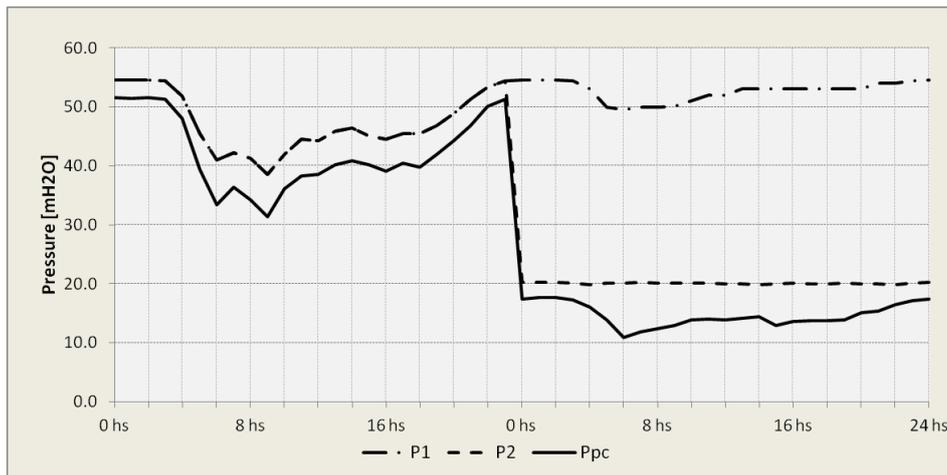


Figura 6. Valores de presión antes y después de la reducción de presión en el SGP “KWD1-2”. La línea sólida representa la presión en el punto crítico (Pcp), la línea de guiones la presión aguas debajo de la VRP (P2) y la línea de guiones largos y punto la presión aguas arriba de la VRP (P1).

Anteriormente se explicó la implicancia de la presión operativa en el nivel de pérdidas reales así como también en las pérdidas reales inevitables (PRI). En la figura 7 se relacionan los valores de pérdidas reales por conexión por día (Q_{PCD}) con las presiones operativas promedio (P_P) medidas en cada SGP analizado. La información de campo valida la teoría ya que se puede comprobar que los valores de Q_{PCD} y PRI encontrados aumentan con el incremento de P_P de manera potencial como las líneas de tendencia que se han trazado en el gráfico para ayudar la comprensión del gráfico (notar que el eje vertical está presentado en escala logarítmica).

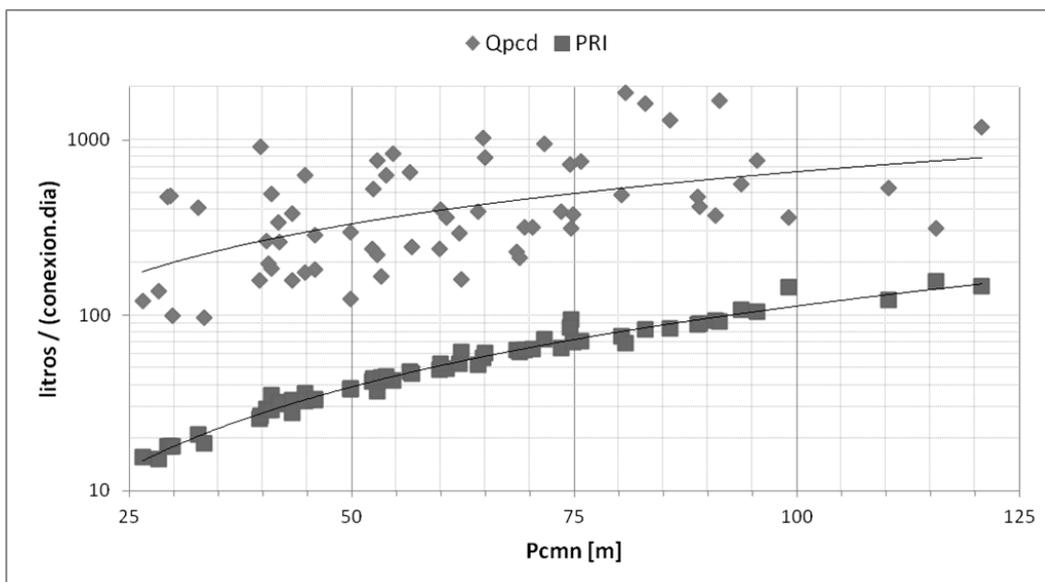


Figura 7. Valores de pérdidas reales por conexión por día (Q_{PCD}) y pérdidas reales inevitables (PRI) respecto a la presión operativa nocturna (P_{CMN}) medidos en los sectores de gestión de presión evaluados.

La figura 8 muestra las pérdidas reales por conexión por día por m de presión operativa para distintos valores de índice de fugas estructurales (IFE, eje horizontal en escala logarítmica). El IFE es un indicador de la performance de la red, un valor igual a 1 representa una condición ideal, mientras que a medida que aumenta significa que la performance de la red encarece por lo tanto la red posee mayores pérdidas reales como se observa en el gráfico. Además se puede ver que los valores se han separado en tres grupos diferentes de presiones operativas ($P_P < 70m$, P_P entre 70 y 90 m, $P_P > 90 m$), se deduce que para una determinada performance de la red el volumen de pérdidas por conexión por m de presión incrementa a medida que incrementa la presión operativa de la red.

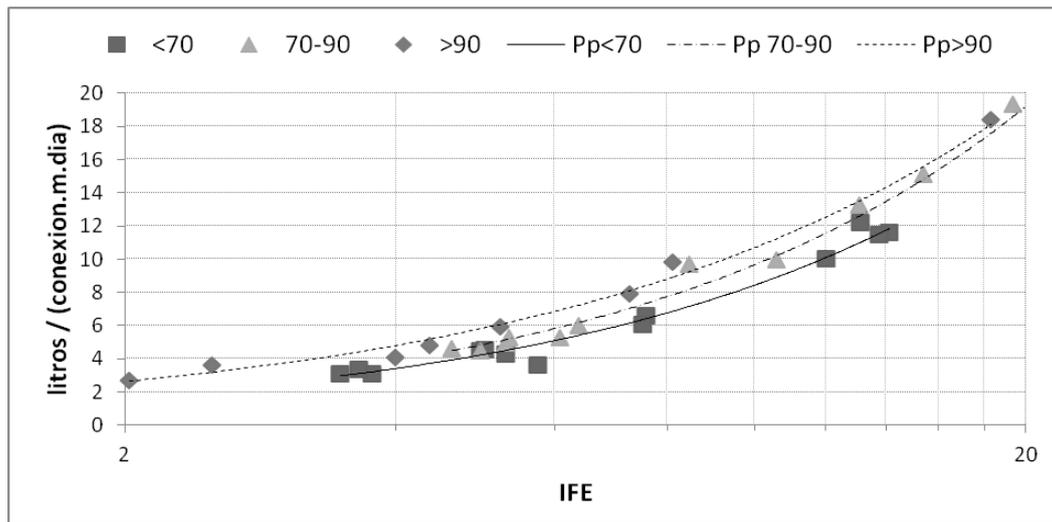


Figura 8. Valores de pérdidas reales por conexión por m de presión operativa por día (Q_{PCD} / P_P) respecto al índice de fugas estructurales (IFE)

Finalmente se presenta una síntesis de los beneficios obtenidos (ver Tabla 2):

- Incremento del factor día/noche (FDN): se logró un incremento de media hora, esto significa que se disminuyeron las variaciones de presiones en la red lo que ayuda a suministrar el agua de manera más eficiente y reduce la frecuencia de nuevas fugas.
- Reducción de la presión operativa: en general se logró una reducción de 29m lo que equivale a una reducción del 35% de la presión operativa de todas las redes gestionadas. La reducción de presión en la red conlleva a reducir los caudales de pérdidas reales del sistema así como reducir la frecuencia de nuevas fugas.
- Reducción de las pérdidas reales: se logró reducir el volumen de pérdidas en 2702m³ por día o 319 litros por conexión por día lo que generó un gran ahorro de agua equivalente a 4.046.826 Rands por año (433.000 dólares por año). En la figura 9 se pueden observar las pérdidas reales antes y después para 32 de los SGP's analizados.

Tabla 2.- Síntesis de los resultados obtenidos

	FDN [horas]	Pcmm [m]	Qpcd [m ³ /día]	Qpcd [l/(con.dia)]
Antes	22.7	82.9	6404	756
Después	23.2	53.9	3702	437

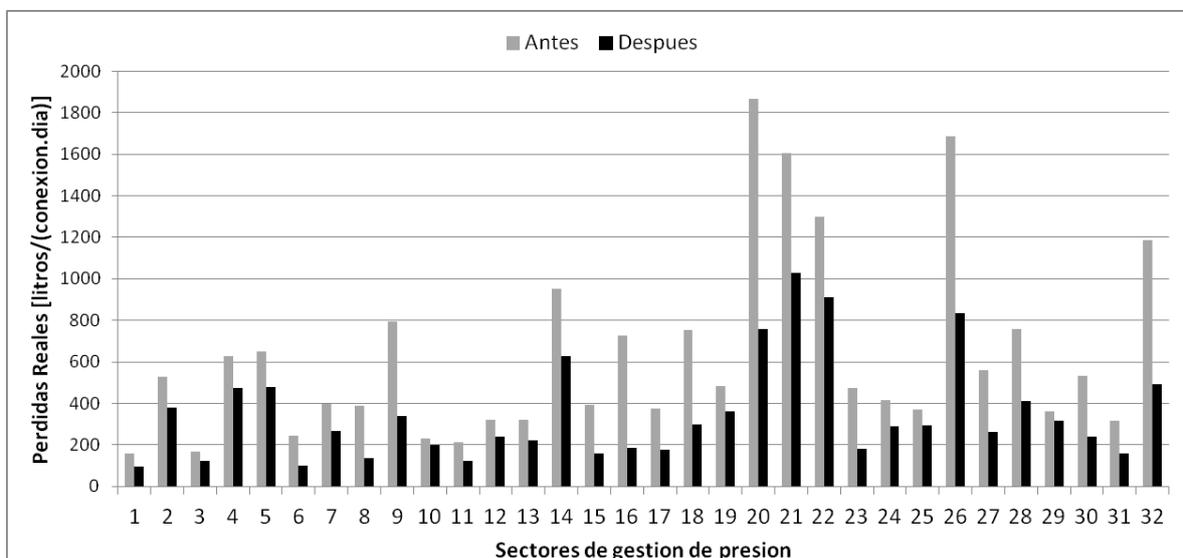


Figura 9. Pérdidas reales antes y después de la gestión de presión

NUEVA FUNCION PRESION:PERDIDAS REALES

Con todos la información recopilada se deduce que las pérdidas reales en un SGP son función principalmente de cuatro variables: N_c , L_r , FDN y P_{CMN} . Para reducir el número de variables se utilizo el Teorema Pi y si agrega a la densidad del agua (ρ) como una nueva variable, de manera que:

$$Q_{PCD} = f(FDN, P_{CMN}, N_c, L_r, \rho) \quad [11]$$

Aplicando el Teorema Pi se logra reducir el problema a una función de dos números adimensionales π_1 y π_2 , relacionados por una función g de manera que $\pi_1 = g(\pi_2)$. Debajo se presentan los números adimensionales logrados:

$$\pi_1 = \frac{Q_{PCD} \cdot FDN \cdot N_c}{L_r^3} = \frac{Q_{PCD} \cdot FDN \cdot D_c}{L_r^2} \quad [12]$$

$$\pi_2 = \frac{P_{CMN} \cdot FDN^2}{\rho \cdot L_r^2} \quad [13]$$

Utilizando la información de los SGPs analizados se obtuvieron diversos valores de π_1 y π_2 , los cuales se presentan en la figura 10. Con estos datos se pudo deducir la función que regula a ambos, dicha función es una función de tipo potencial y se presenta debajo:

$$\frac{Q_{PCD} \cdot FDN \cdot N_c}{L_r^3} = A \left(\frac{P_{CMN} \cdot FDN^2}{\rho \cdot L_r^2} \right)^B \quad [14]$$

Donde A y B son constantes y sus valores: $A=7 \times 10^{-16}$ y $B=1,1543$.

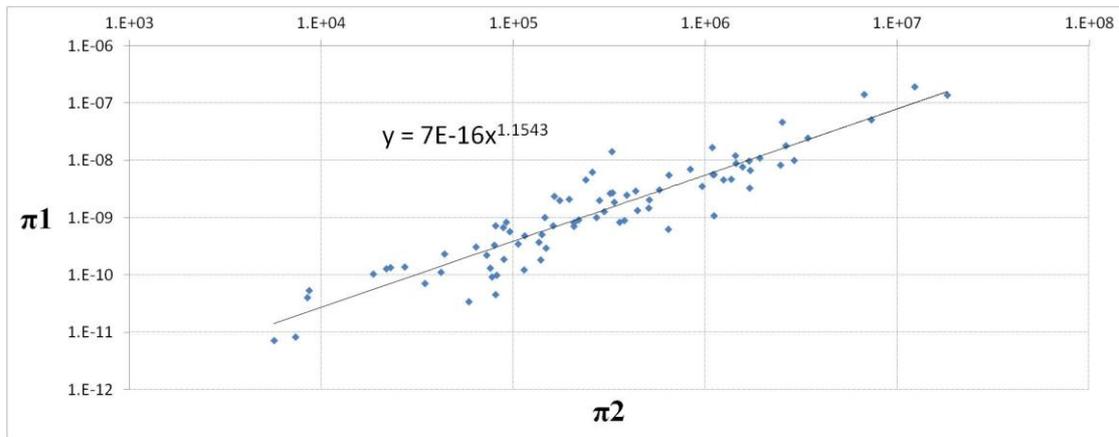


Figura 10. Valores de π_1 y π_2 para los SGPs analizados.

Despejando A de la ecuación [14] y comparando una situación antes y después de gestión de presión para un sistema en el que FDN , N_c , L_r y ρ no varíen; se puede llegar a la siguiente fórmula:

$$Q_{PCD_d} = Q_{PCD_a} \cdot \left(\frac{P_{CMN_d}}{P_{CMN_a}} \right)^B \quad [15]$$

La formula [15] equivale a la formula [3] por lo que se deduce que $B = N1$. Entonces la formula general para las pérdidas reales de una red es la [14] donde A y $B=N1$ son constantes que varían de acuerdo a las características típicas del sistema: materiales de las cañerías, tipo de juntas, performance de la red, tipo de fugas y roturas, etc.

CONCLUSIONES

- La instalación de una válvula reductora de presión en un sector de gestión de presión incrementa el factor día/noche, lo que permite estabilizar y reducir las variaciones de presiones durante el día.
- La reducción de la presión operativa de un sector de gestión de presión provoca reducciones de los niveles de pérdidas reales del sector controlado.
- La gestión de presión genera incrementos de presión en las líneas de abastecimiento al sector controlado.
- La disminución del consumo es mucho menor a la reducción de presión realizada.
- Las pérdidas reales varían de manera potencial con relación a la presión operativa del sistema.
- Para una determinada performance de la red (IFE), las pérdidas por conexión por m de presión de la red aumentan proporcionalmente a la presión operativa del sector.
- Las variables más importantes que influyen las pérdidas reales son:
 - Número de conexiones de servicio (N_c)
 - Longitud de la red (L_r)
 - Presión operativa (P_p)
 - Factor día/noche (FDN)
- El fenómeno de las pérdidas reales se puede explicar con una función potencial de dos variables deducida aplicando el teorema Pi, fórmula [14] en la cual B es igual a N_1 .

REFERENCIAS

- Fantozzi, M; Calza, F and Lambert, A** (2009). "Experience and results achieved in introducing District Metered Areas (DMA) and Pressure Management Areas (PMA) at Enia utility (Italy)". IWA Specialist Conference 'Waterloss 2009', Cape Town, South Africa.
- Fantozzi, M and Lambert, A** (2012). "Residential Night Consumption – Assessment, Choice of Scaling Units and Calculation of Variability". WA Specialised Conference 'Water Loss 2012', Manila, Philippines.
- Farley, M and Trow, S** (2003). "*Losses in Water Distribution Networks: A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control*". IWA.
- Lambert, A and Mice** (1994). "Accounting for Losses: the Bursts and Background Estimates Concept". Journal I.W.E.M, 8.
- Lambert, A and Morrison** (1996). "Recent developments in 'Bursts and Background Estimates' Concepts for Leakage Management". Journal C.I.W.E.M, 10.
- Lambert, A; Brown, T; Takizawa, M and Weimer, D** (2000). "A review of performance indicators for real losses from water supply systems". IWA/AQUA.
- Lambert, A** (2003). "What do we know about pressure:leakage relationships in distribution systems?". IWA Conference 'System Approach to Leakage Control and Water Distribution Systems Management', Brno, Czech Republic.
- Lambert, A** (2009). "Ten Years Experience in using the UARL Formula to calculate Infrastructure Leakage Index". IWA Specialist Conference 'Waterloss 2009', Cape Town, South Africa.
- Lambert, A; Hicks, J; Kay, S; May, J and Waldron, T** (2010). "Managing excess pressures to improve water systems asset management". 5th World Congress on Engineering Asset Management, Brisbane, Australia.
- Lambert, A** (2013). "International Water Losses – Lost in Translation". Water and Wastewater Treatment Magazine.
- Thornton, J and Lambert, A** (2005). "Progress in practical prediction of pressure:leakage, pressure:burst frequency and pressure:consumption relationships". Proceedings of IWA Special Conference 'Leakage 2005', Halifax, Canada.
- Thornton, J; Sturm, R and Kunkel, G** (2008). "*Water Loss Control / Second Edition*". Mc Graw Hill.
- Ziegler, D; Fallis, P; Hubschen, K; Oertle, E; Klingel, P; Knobloch, A; Baader, J; Trujillo, R and Laures, C** (2011). "*Guía para la reducción de las pérdidas de agua / Un enfoque en la gestión de presión*". Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), Eschborn, Alemania.