

8.

CASO PRÁCTICO: MODELIZACIÓN DE UN SECTOR DE YATE

El control de la presión se realiza sobre áreas o sectores definidos (denominados en inglés PMA o Pressure Management Areas), de forma similar al control de fugas mediante distritos hidrométricos (denominados en inglés DMAs o District Metered Areas). No siempre coinciden dichas áreas, pudiendo darse el caso de que un PMA contenga varios DMAs como es el caso en que nos encontramos.

Se va a estudiar el comportamiento de la PMA comprendida por las DMAs 1130 y 1153 ante varias formas de regulación de presión.

8.1. SECTOR DE ESTUDIO

8.1.1. *Situación y características principales*



Yate es una población situada en la región de South, Inglaterra (Reino Unido) a unos 19 Kilómetros de Bristol. (figura 24)

En el 2001 la población censada fue de 21.789 habitantes (fuente: Yate Town Council).

En su mayor parte Yate está formada por viviendas unifamiliares lo que comporta una densidad de población muy baja comparado con otras ciudades donde predominan construcciones de gran altura. (figura 25)

La lluvia anual se sitúa en cerca de 1000 milímetros anuales. La temperatura máxima anual ronda los 18-22°C y la mínima invernal es de 1-4°C.

Figura 24: Localización de Yate



Figura 25: Yate, vista aérea (fuente: Google Maps)

Actualmente el sistema de abastecimiento de aguas de Yate es gestionado por Bristol Water con sede en Bristol.

Para la correcta gestión de las fugas un sistema de abastecimiento de aguas se divide en diferentes sectores. Entre las diferentes DMA en que Bristol Water ha dividido Yate el sector de estudio escogido comprende las DMA 1130 y 1153, estas dos DMAs componen una PMA regulada por una sola PRV.

La entrada del agua de abastecimiento se sitúa en el extremo oeste de la DMA 1153 desde donde la recorre longitudinalmente hasta entrar en la DMA 1130.

La figura 26 muestra el sector de estudio correspondiente a la DMA 1130 y 1153.



Figura 26: DMA 1130 y DMA 1153.

ESQUEMA DMA 1130-1153 BRISTOL WATER

Cada uno de los sectores o áreas puede ser dividido en varios subsectores llamados WWMD (Waste Water Meter District). Los WWMD que forman nuestros dos sectores son:

- DMA 1130: WWMD 1164, 1165, 1067, 1079, 1183, 1184, 1087, 1088, 1089 y 1098.
- DMA 1153: WWMD 1069, 1077 y 1082.

En la página anterior se presenta el esquema de la zona de estudio. Los diferentes colores representan cada una de las WWMD. La PRV actual está identificada por un recuadro amarillo que a su vez indica la entrada de la DMA 1130.

El agua fluye por gravedad proveniente de un depósito cuya cota es de 129.7 m, hasta llegar a la entrada de la DMA 1130.

8.1.2. Topografía

El área se caracteriza por una zona comprendida entre los 65 y los 75 metros que se localiza a la entrada de la DMA 1130 (donde está situada la válvula). La cota va aumentando progresivamente de este a oeste hasta llegar a la parte más elevada situada en la DMA 1153. En esta parte representada en la figura 27 es donde se sitúa nuestro punto crítico del sistema con una cota de 99.1 metros sobre el nivel del mar.

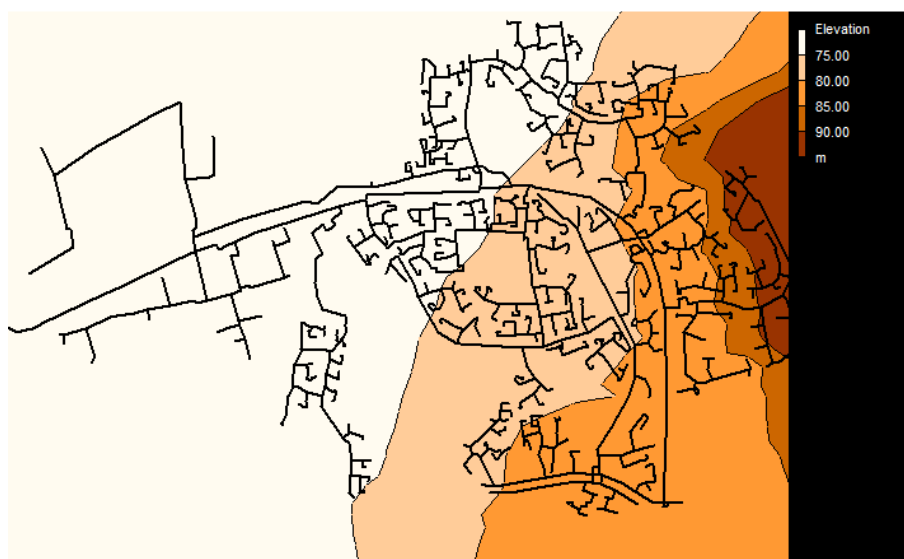


Figura 27: Topografía de la DMA 1130 y 1153.

La tabla 4 muestra la cota de los puntos más significativos de cada DMA.

Tabla 4: Cotas de los puntos más significativos de las DMA 1130 y 1153.

	DMA 1130	DMA 1153
Cota		
Mínima	64.5	75.7
Entrada	68.6	79.3
AZNP	73.7	83.0
Punto crítico	91.1	99.1

8.1.3. Construcción y población

Estas dos DMAs se caracterizan por estar formadas principalmente por casas unifamiliares de baja altura. Existen otras construcciones a destacar como lo son los varios colegios que existen la zona, dos iglesias, un complejo deportivo y el club de fútbol de Yate. (ver esquema página 47).

Dichas construcciones se encuentran en la zona de menor cota por lo que garantizando un buen nivel de presión en la zona de mayor cota estaremos asegurando un buen nivel de servicio al resto de zonas.

La tabla 5 muestra el número de habitantes de cada sector así como el número de propiedades domésticas y no domésticas.

Tabla 5: Población y tipo de propiedades de las DMA 1130 y 1153.

	DMA 1130	DMA 1153	DMA 1130+1153
Población (hab.)	5727	2914	8641
Longitud tuberías (km)	31,70	15.64	47.34
Nº propiedades domésticas	2767	1378	4145
Nº prop. no domésticas	171	78	249

8.1.4. Cambios durante el último año

Para la realización del estudio se dispone de datos des del 1 de agosto de 2008 hasta el 1 de agosto del 2009. Durante todo este tiempo Bristol Water ha monitorizado la presión y el caudal que pasa a través del punto de entrada situado en la DMA 1130.

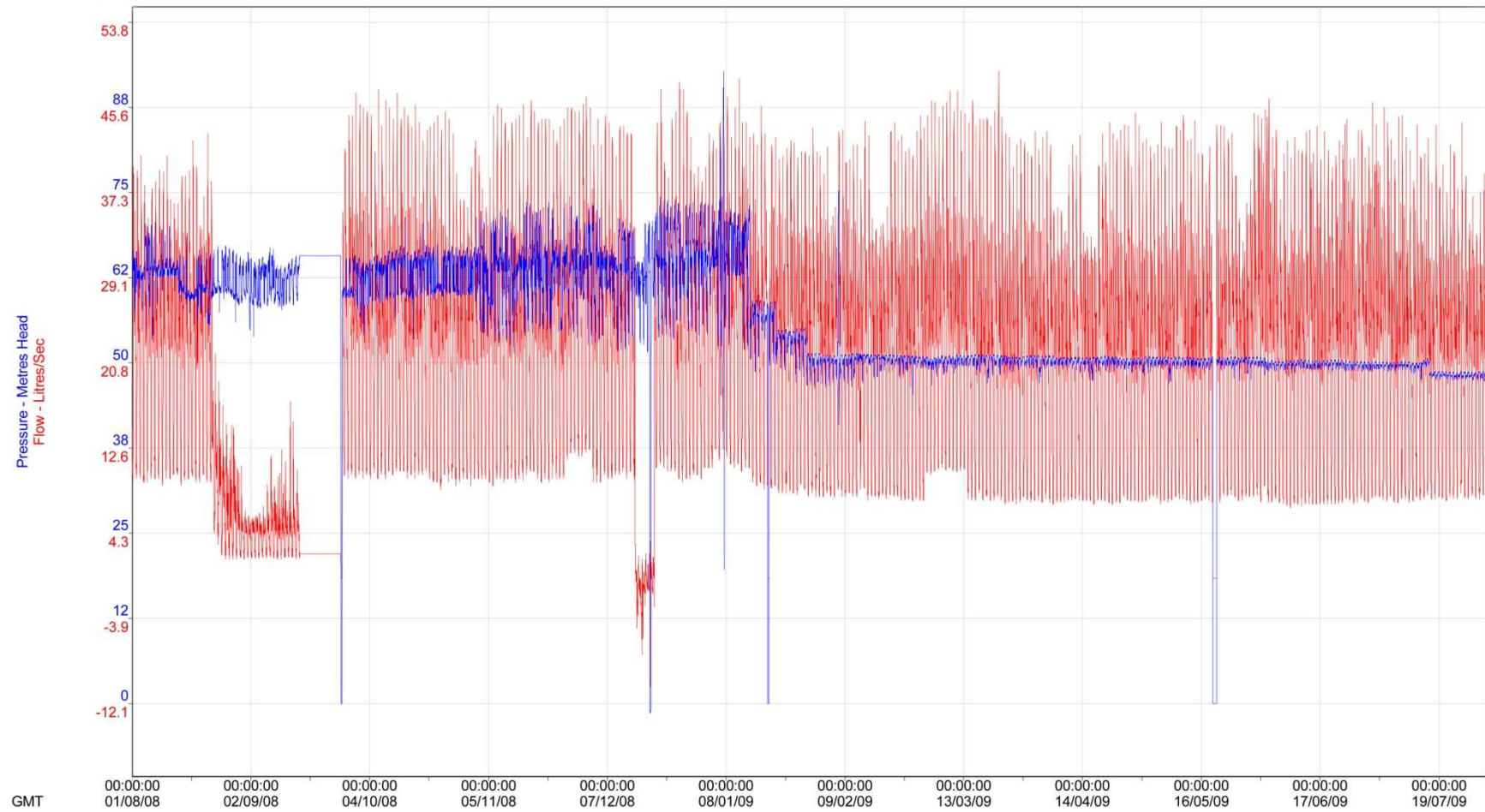
En la página siguiente se muestran los resultados de este monitoreo realizado por Bristol Water sobre la DMA 1130 y 1153.

Inicialmente la presión del sistema presenta una gran variabilidad y un valor medio de 63 m. llegando muchas veces a valores puntuales de incluso 70m. Esto se traduce en una gran carga sobre el sistema de abastecimiento y posibilidad de producirse roturas. El 14 de enero de 2009 se instaló la válvula de reducción de presión ypartir de entonces se observa un muy buen control sobre la presión.

En cualquier sistema, la reducción de presión debe realizarse de manera paulatina para afectar lo menos posible a los clientes. Una reducción repentina provocaría una avalancha de reclamaciones y quejas a la correspondiente compañía.

En el caso de estudio se pueden observar como mínimo 5 fases de reducción de presión bien diferenciadas pasando de los 63 m iniciales a los 48 m finales.

DMA 1130+1153



[1] Pressure: __11_30 : ISLE-OF-RHE : : Channel 1 :

[2] Flow: __11_30 : ISLE-OF-RHE : : Channel 2 :



Figura 29: Registradores de presión y caudal.

Para monitorear la presión en el punto de presión media y en el punto crítico se instaló el data-logger en una boca de incendios.

La figura 30 muestra la secuencia de instalación del data-logger donde se aprecia como antes de su fijación se realiza una purga para eliminar los posibles depósitos de suciedad que provocarían la obturación del medidor.



Figura 30: Secuencia de instalación del data logger en una boca de incendios.

La imagen (1) corresponde al estado inicial de la arqueta antes de efectuar la maniobra de limpieza (2). Posteriormente se instala el capuchón (3) donde se conectará el medidor de presión (4).

Estos medidores permiten recopilar los datos cada cierto tiempo, previamente estipulado. Pueden comunicarse con una centralita mediante conexión telefónica (SMS) o manualmente mediante descarga con una PDA o PC.

8.3. Indice ILI

Se va a calcular el índice de fugas irreducibles (ILI) para nuestro sistema antes de la instalación de la PRV para ver si la instalación de la válvula comportará una reducción de fugas aceptable.

Recordemos que:

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} \quad [1]$$

Donde UARL es el umbral de fugas irreducibles [2] y CARL es el valor actual de pérdidas físicas.

$$UARL = (18 \cdot Lm + 0.80 \cdot Nc + 25 \cdot Lp) \cdot P \quad [2]$$

Donde:

Lm	47.34 km
nc	4145 conexiones
lp	0.006 km
p	56 m

Por lo tanto $UARL = 64.7$ litros/conexión de servicio/día·presión media del sistema.

CARL se obtiene introduciendo en la hoja de cálculo PRESSMAC los valores de presión en el punto crítico, presión media y punto de entrada.

El valor actual de pérdidas físicas obtenido es de 133.1 litros/conexión de servicio/día·presión media del sistema.

Es decir:

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} = \frac{133.1}{64.7} = 2.1 \quad [3]$$

Valor que guarda relación con el índice ILI medi en Inglaterra (ver figura 4).

Por consiguiente, es posible reducir el nivel actual de pérdidas. En los apartados siguientes se estudiarán diversas formas de reducir el caudal de fugas mediante la reducción de presión.

8.4. Modelización DMA 1130+1153

8.4.1. Programa utilizado: características generales de EPANET

Para la modelización y estudio del caso práctico entre los varios software disponibles se ha utilizado EPANET.

EPANET es un programa gratuito de cálculo de redes de abastecimiento de agua desarrollado por la Agencia Norteamericana de Medioambiente, USEPA. Se utiliza principalmente para el análisis de sistemas de distribución de agua potable aunque puede ser utilizado para análisis de cualquier fluido no compresible con flujo a presión.

Este programa permite realizar análisis hidráulicos de redes de tuberías a partir de las características físicas de las tuberías y dinámicas de los nudos (consumos) para obtener la presión y los caudales en nodos y tuberías respectivamente.

Adicionalmente EPANET permite el análisis de calidad de agua a través del cual es posible determinar el tiempo de viaje del fluido desde las fuentes (depósitos y embalses), hasta los nodos del sistema.

Entre los elementos que puede simular el programa se encuentran fundamentalmente tubos, nodos, depósitos y embalses (referencias de carga constante) y adicionalmente permite utilizar elementos más complejos como bombas y válvulas.

En el caso que nos interesa EPANET nos permite a partir de un pequeño módulo de programación controlar las válvulas de reducción de presión que utilizaremos según nos interese.

8.4.2. Calibración del modelo

8.4.2.1. Determinación de la curva de consumo.

No es objeto de este trabajo realizar un estudio exhaustivo sobre la curva de consumos en una red de abastecimientos de agua pero es de interés realizar una serie de apuntes para poder entender mejor el comportamiento de la red de abastecimiento a lo largo del día.

Dentro de una población la curva de consumo de agua suele tener un comportamiento característico el cual suele repetirse a lo largo del tiempo.

Observando el gráfico 1 y 2 vemos que la curva tiene un comportamiento similar durante los días laborables. De lunes a viernes la curva tiene dos máximos, el primero centrado alrededor de las 8 horas (momento de prepararse para ir a trabajar y al colegio: duchas, desayunos, etc.) y el segundo a las 19 horas (vuelta del trabajo y colegios, cenas, duchas, etc.). La curva de consumo de un año después es muy similar.

Es muy importante recalcar que estas curvas depende de muchos parámetros tales como: país, zona, nivel socio-económico, época del año, porcentaje de viviendas, etc. En ningún caso se debe extrapolar esta información a otras zonas sin realizar un estudio previo.

Gráfico 1: Curva de consumo DMA 1130+1153 antes de la instalación de la PRV.

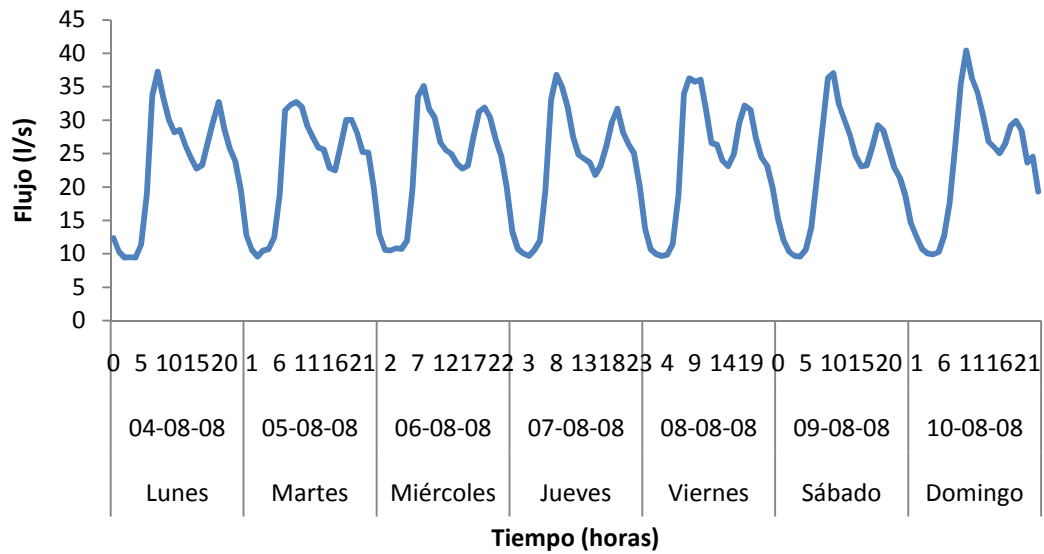
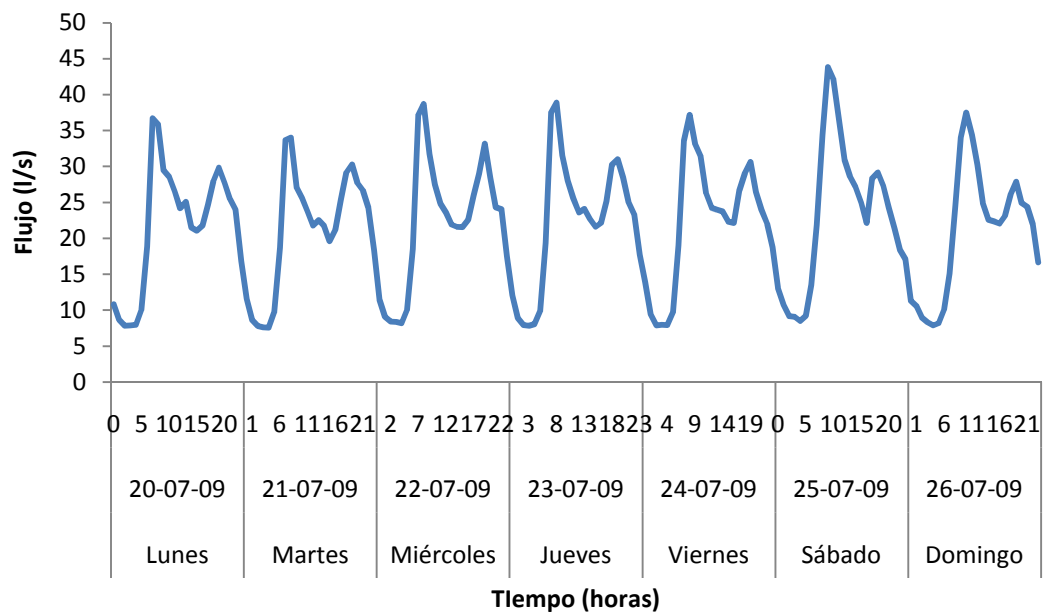
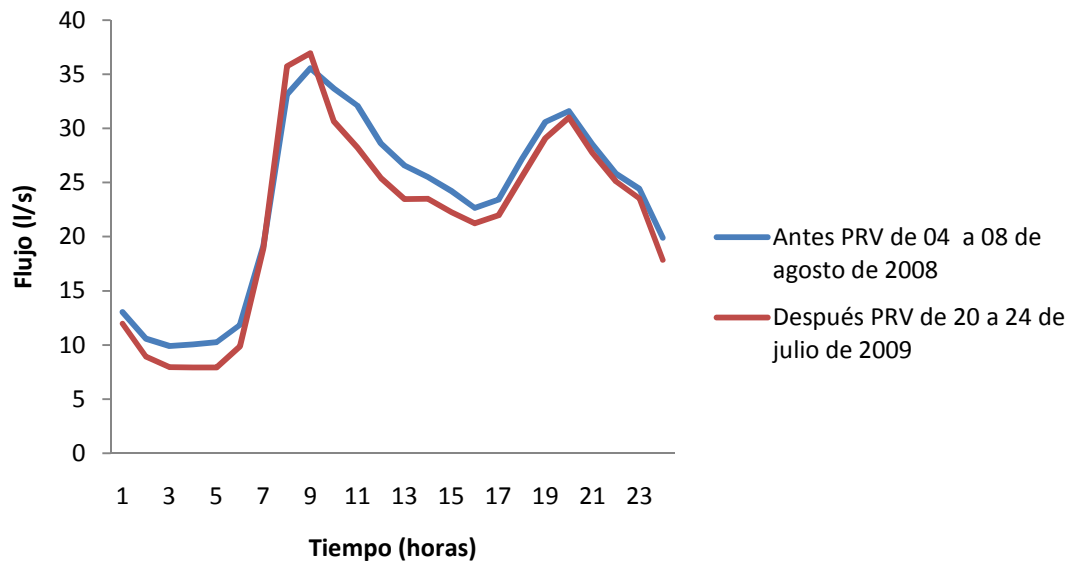


Gráfico 2: Curva de consumo DMA 1130+1153 después de la instalación de la PRV.



Para realizar la calibración del modelo se ha trabajado con los datos de los días laborables ya que su curva es la que presenta una menor variabilidad con el paso del tiempo. Para modelizar el sistema antes de la instalación de la válvula de reducción de presión se han utilizado los datos del día 4 de agosto de 2008 al día 8 de agosto de 2008 (gráfica 1) y para la calibración una vez instalada la PRV se ha trabajado con los datos del 20 de julio 2009 hasta el 24 de julio de 2009 (gráfica 2).

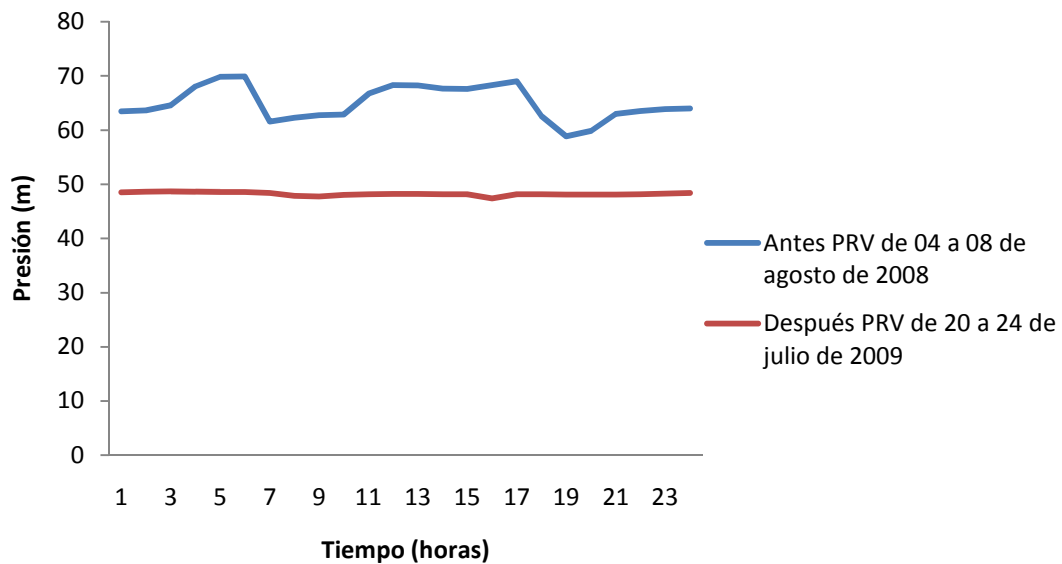
Gráfico 3: Caudales medios utilizados para la calibración del programa.



En este último gráfico 3 se puede apreciar como el consumo total disminuye como consecuencia de la instalación de la PRV. Veremos este efecto con más detalle en los capítulos siguientes.

Con las presiones actuaremos de manera similar. Se utilizarán valores correspondientes a las semanas anteriormente citadas y después de la instalación de la válvula (gráfico 4).

Gráfico 4: Presiones medias utilizadas para la calibración del programa.



8.4.2.2. Fórmula de pérdidas y rugosidad

Cada tubería está conectada en sus extremos por dos nodos. Durante el recorrido del agua a través de la red una parte de su energía se pierde como consecuencia del movimiento de las partículas de agua y al rozamiento con las paredes fijas de la tubería. La mayor parte de las pérdidas en un sistema de abastecimiento son debidas a la fricción y son función de flujo, longitud de la tubería, diámetro y del coeficiente de rugosidad.

La pérdida de carga debida a la presión puede ser expresada mediante la siguiente formula general [1]:

$$h_L = a \cdot q^b \quad [1]$$

Donde h_L se refiere a la pérdida de carga, q el flujo, a representa el coeficiente de resistencia y b el exponente del flujo.

EPANET puede utilizar una de las tres formas más comunes para resolver la ecuación [1]: Hazen-Williams, Darcy-Weishach o Chezy-Manning.

La tabla 6 muestra los coeficientes de pérdidas para cada una de las formulaciones.

En este caso se ha utilizado la formulación de Darcy-Weisbach. Teniendo en cuenta que la mayor parte de las tuberías son de fundición y no hay datos que nos indiquen el estado actual de las tuberías se ha optado por utilizar un coeficiente de pérdidas de 0.10.

Tabla 6: Coeficientes de pérdidas para distintos materiales.

	ϵ Darcy-Weisbach
Plástico (PE, PVC)	0.0015
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0.01
Acero	0.05
Hierro galvanizado	0.15
Fundición	0.25
Hormigón o revestimiento de hormigón	0.3-3.0

8.4.2.3. Coeficiente y exponente de emisión

EPANET no fue diseñado inicialmente para el cálculo fugas. No obstante la propiedad de que dispone para modelizar hidrantes se puede adaptar para el estudio de la fugas en una red de abastecimiento de agua.

Para ver cómo trabaja EPANET con los hidrantes y poder adaptarlo al cálculo de fugas en nuestro sistema partimos de la ecuación de Torricelli que relaciona el flujo a través de un orificio con la presión [2].

$$Q = C \cdot A \cdot P^{Pexp} \quad [2]$$

Donde C es un coeficiente, A es el área del orificio, P es la presión del fluido y $Pexp$ es el exponente de la presión.

El exponente de la presión suele ser 0.5 para aperturas circulares.

Basándose en esta ecuación, EPANET aplica una simple ecuación para la función de emisión [3].

$$EC = \frac{Q}{P^{P_{exp}}} \quad [3]$$

Donde EC es el coeficiente de emisión (emitter coefficient), Q es el caudal de fuga, P es la presión del fluido y P_{exp} es el exponente de presión (emitter exponent).

EPANET permite especificar el coeficiente de emisión para cada punto de fuga pero el exponente de emisión debe ser fijado el mismo para todo el sistema.

La ecuación [2] indica que para bajos flujos de 50-100 l/hr, en combinación con un exponente de presión de 0.5, solo pueden ser logrados especificando un coeficiente de emisión del orden de 0.001. Por lo tanto las simulaciones hidráulicas mediante EPANET se ven afectadas por estos bajos valores del coeficiente de emisión y por consiguiente la convergencia de la simulación numérica solo puede ser lograda incrementando la precisión a 0.00075 (Mashford et al, 2009).

Investigaciones sobre los efectos de las fugas en los sistemas de distribución de agua han demostrado que el exponente de presión depende de la geometría del orificio (Rosman, 2000).

La tabla 7 muestra la relación entre el exponente de emisión y los diferentes tipos de orificios.

Tabla 7: Exponentes de emisión (Van Zyl and Clayton, 2005)

Failure Type	Leakage Exponent* for pipe materials		
	uPVC	Asbestos Cement	Mild Steel
Round hole	0.52	-	0.52
Longitudinal Crack	1.38 - 1.85	0.79 - 1.04	-
Circumferential crack	0.41 - 0.53	-	-
Corrosion cluster	-	-	0.67 - 2.30

A falta de suficientes datos en nuestro sistema compuesto por la DMA 1130 + 1153 se han distribuido uniformemente las fugas entre todos los nodos obteniendo un valor del coeficiente de emisión de 0.00029 y del exponente de emisión de 0.9.

Este exponente de emisión se encuentra dentro de los valores posibles para un orificio circular. El coeficiente de emisión si lo comparamos con el dato aproximado dado por Mashford expuesto anteriormente también se encuentra dentro de un valor lógico teniendo en cuenta que en cada nodo disponemos de un flujo de fugas de alrededor de 25 l/h.

8.4.2.4. Determinación del caudal de fugas.

Para realizar la modelización se ha introducido en EPANET el consumo real de la DMA 1130+1153.

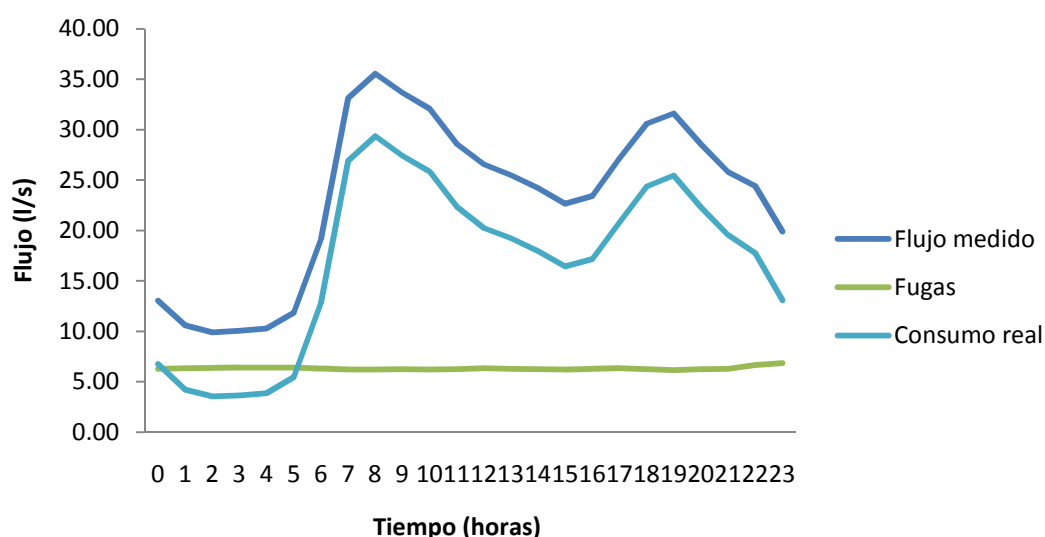
A partir de los datos de campo, el caudal de agua que entra hacia estas DMAs se ha dividido entre el caudal real consumido y las fugas del sistema. Por lo tanto la suma del caudal de fugas más el consumido es igual al caudal que atraviesa nuestra PRV.

Para obtener estos datos se ha partido de un modelo de PRESMAC el cual ha sido calibrado y adaptado según los parámetros del área de Bristol por Bristol Water.

A partir de los datos de campo proporcionados por Bristol Water se ha podido determinar el flujo de fugas y el consumo real del sistema.

El gráfico 5 muestra el flujo medido a la entrada del sistema y el caudal de fugas correspondiente a la presión de 63 metros a la que estaba la entrada del sistema. Este caudal de fugas es de 6.32 l/s de media.

Gráfico 5: Flujos antes de la instalación de la PRV



8.5. Modos de control de presión estudiados

Por ser una de las formas más simples se estudiará la evolución de las fugas a partir de la comparación de los caudales mínimos nocturnos.

El caso de partida será el estado inicial en que se encontraba el sistema antes de la instalación de la PRV. Posteriormente se modelará la diferentes posibilidades de regulación de presión.

Caso inicial:

Se parte del estado del sistema antes de la instalación de la PRV. Es decir, la presión no está regulada por ningún dispositivo pudiendo tener fuertes fluctuaciones de presión y provocar grandes esfuerzos sobre la tubería (gráfico 6 y 7).

Gráfico 6: Presión de entrada y presión en el punto crítico sin PRV.

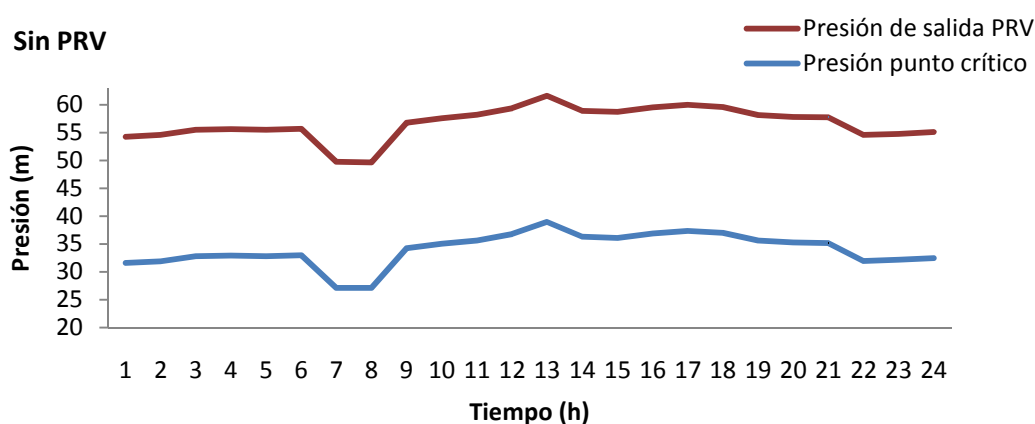
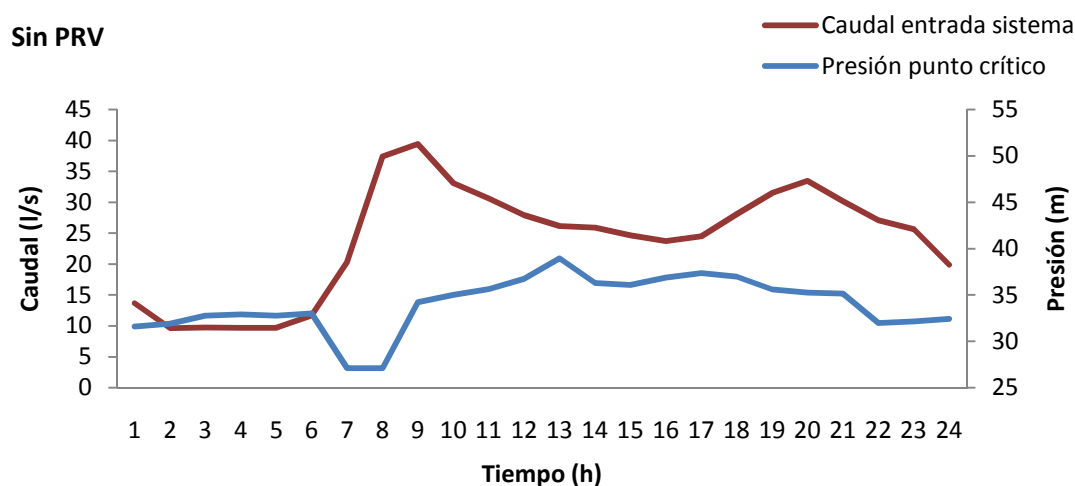


Gráfico 7: Caudal de entrada y presión en el punto crítico sin PRV.



Podemos apreciar en el gráfico 7 que la presión en el punto crítico varía entre los 27 m en los momentos de máximo caudal y 38m durante los de menor consumo, 11 metros de variación total. Esta gran fluctuación nos ofrece una interesante reducción de presión, más aún teniendo en cuenta que la presión mínima en el punto crítico sobrepasa la estrictamente necesaria para garantizar un buen nivel de servicio.

Caso 1: Regulación de presión de salida fija

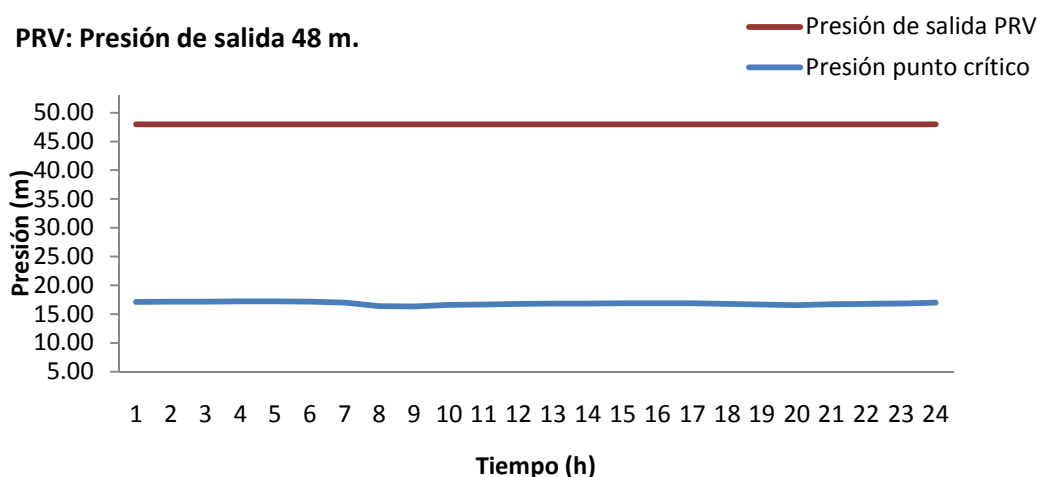
De ahora en adelante nuestra intención será reducir al máximo las fugas disminuyendo en la medida de lo posible la presión en el sistema a la vez que asegurar una presión mínima de servicio durante todo el día en el punto crítico.

Como se ha expuesto anteriormente nos encontramos ante un sector de viviendas de no más de 2 pisos por lo que deberíamos garantizar que la presión de entrada a la vivienda sea de cómo mínimo 15m. Esta cifra dependerá de la política de la compañía de agua en un determinado momento.

El primer caso de regulación consiste en la instalación de la PRV fijando la presión de salida a 48 m. Esta configuración nos permite regular la presión de manera eficaz y con un bajo coste.

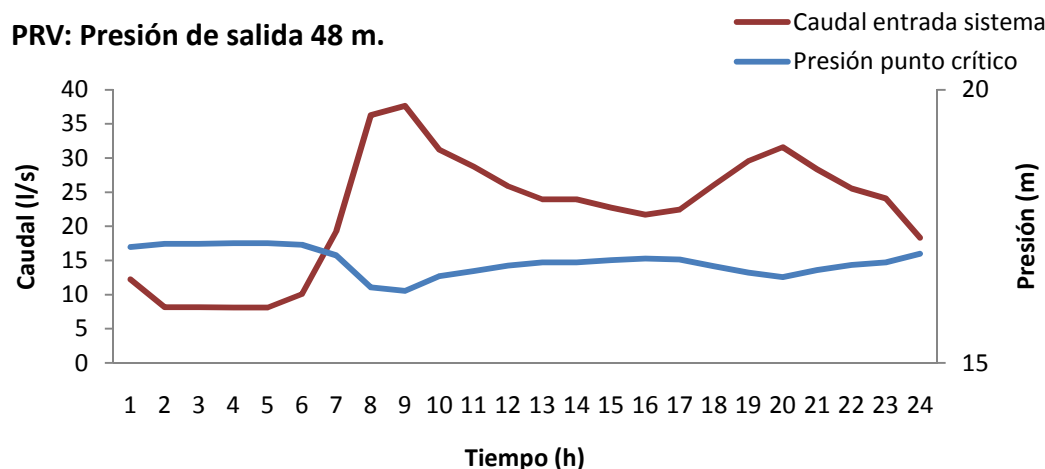
De esta forma a lo largo del día, aún ante altos caudales, la presión en el punto crítico será mayor que 15 m (gráfico 8).

Gráfico 8: Presión de salida de la PRV y presión en el punto crítico del sistema.



Se puede apreciar como la presión ya no presenta grandes oscilaciones que sometan a sobrecargas innecesarias a la red de abastecimiento (gráfico 9).

Gráfico 9: Caudal de entrada y presión en el punto crítico con PRV y presión de salida de 48m.



Caso 2: Regulación de presión por tiempo

La siguiente opción estudiada consiste en regular la presión mediante un temporizador que la haga variar en función del momento del día. Es una instalación relativamente simple pero más costosa que la anterior debido a su dependencia con los aparatos electrónicos de control.

La principal ventaja de este sistema de regulación reside en la posibilidad de mantener una presión nocturna mínima en el sistema ofreciendo una presión en el punto crítico mayor en los momentos de máximo consumo aumentando de esta forma la calidad del servicio.

Su mayor desventaja está en que no se adapta a las posibles oscilaciones o modificaciones que pueda tener la curva de consumo a lo largo del tiempo. Este modo de regulación simplemente sigue el comportamiento a que inicialmente fue programado.

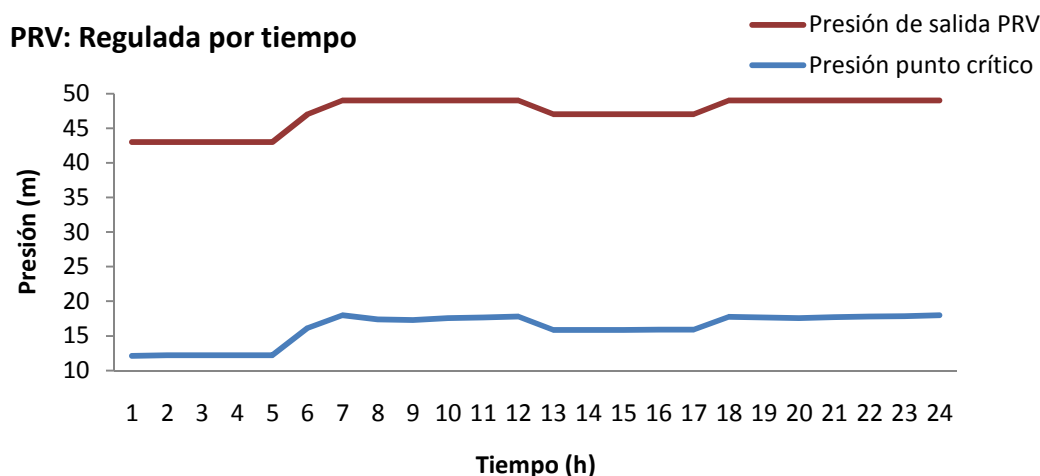
Observando la curva de consumo estudiada se ha programado la PRV de manera que ofrezca una presión de alrededor 18 m en los momentos de máximo caudal mientras que disminuya a 12 durante los periodos nocturnos de menor consumo. La tabla 8 la regulación de presión propuesta:

Tabla 8: Curva de presión a la salida de la PRV controlada por tiempo

Momento del día (h)	Presión (m)
De 00 am a 05 am	43
De 05 am a 06 am	47
De 06 am a 00 pm	49
De 00 pm a 05 pm	47
De 05 pm a 11 pm	49
De 11 pm a 00 am	47

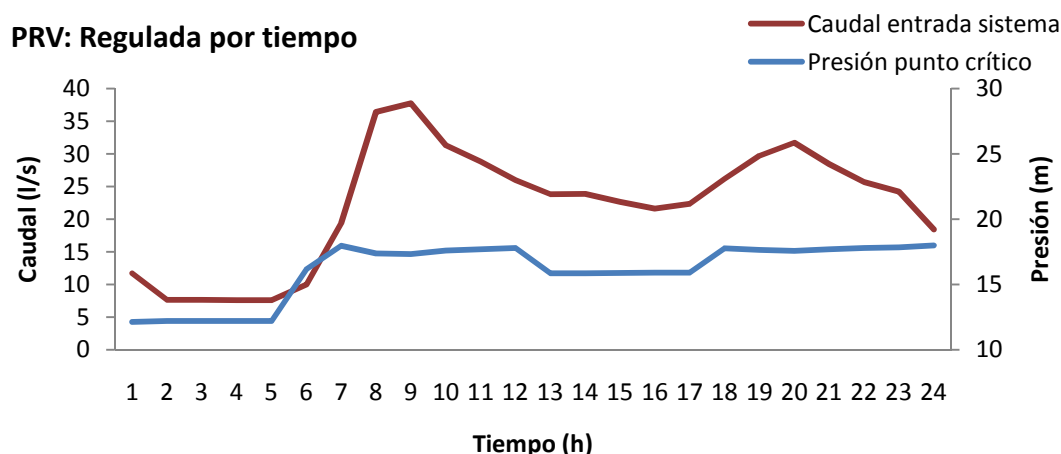
A continuación se muestra (gráfico 10) el resultado de la regulación de presión.

Gráfico 10: Regulación de presión mediante temporizador.



El gráfico 10 muestra el resultado de esta regulación. La presión en el punto crítico es máxima en los momentos de mayor consumo mientras que durante la noche la presión disminuye al mínimo suficiente para garantizar un correcto servicio, con la consiguiente disminución de fugas.

Gráfico 11: Caudal de entrada y presión en el punto crítico con PRV controlada mediante temporizador.



Caso 3: Regulación de presión por caudal

Otra interesante opción es la regulación de presión en función del caudal a la entrada del sistema. Su finalidad es similar a la regulación mediante temporizador, ofrecer mayores presiones durante los momentos de mayor flujo y menores en los de menor uso.

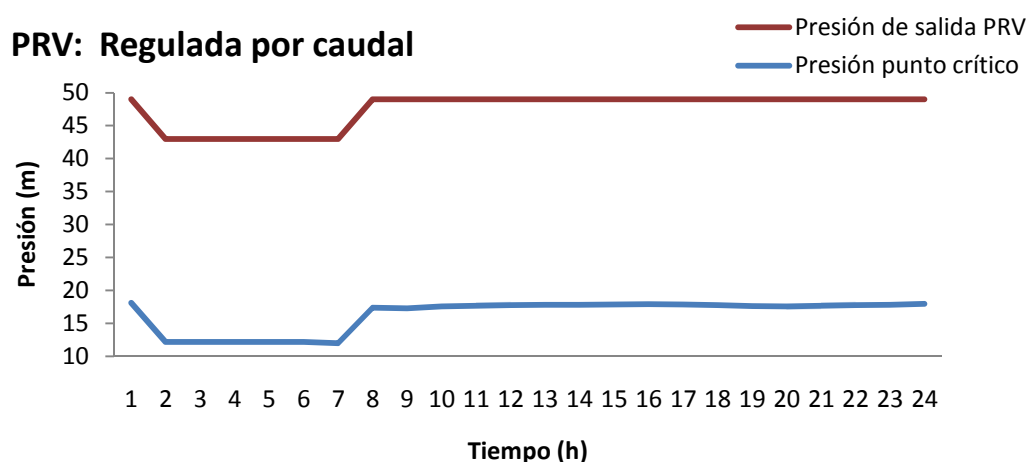
La principal ventaja que ofrece es su capacidad de adaptación a nuevas curvas de consumo. Basta con programar el controlador la presión de salida deseamos para cada consumo para que realice la regulación deseada. Como no depende del tiempo la programación será totalmente válida aunque la curva de consumo se desplace lateral o verticalmente.

Se ha programado el modelo mediante dos variaciones de presión:

Consumo (l/s)	Presión (m)
> 12	49
≤ 12	43

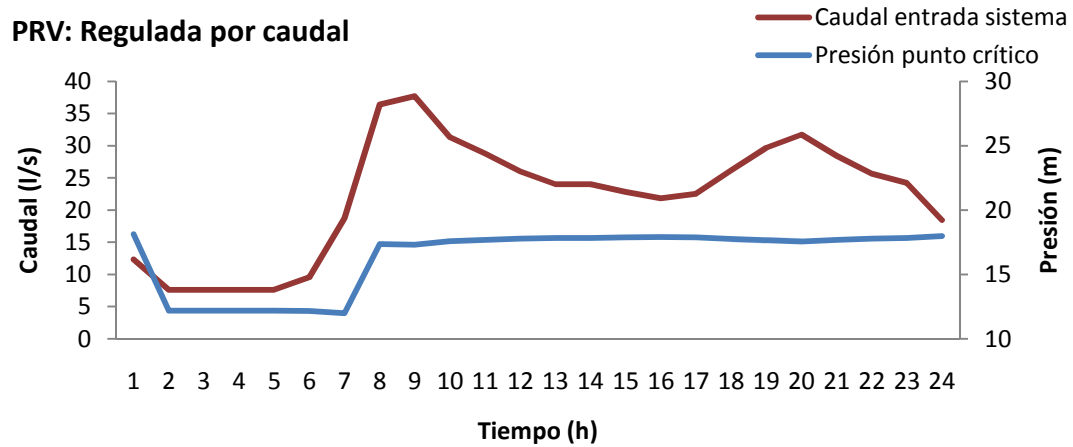
Como en los casos anteriores el gráfico 12 muestra la presión a la salida de la PRV y la presión en el punto crítico.

Gráfico 12: Regulación de presión controlada por el caudal que pasa por la PRV.



En el gráfico 13 vemos como en los momentos de consumo se garantiza un excelente nivel de presión en el punto crítico. En los momentos de menor consumo la presión de salida de la PRV se puede bajar incluso a 43m dando una presión en el punto crítico de 12 m disminuyendo considerablemente las pérdidas.

Gráfico 13: Caudal de entrada y presión en el punto crítico con PRV controlada mediante caudal.

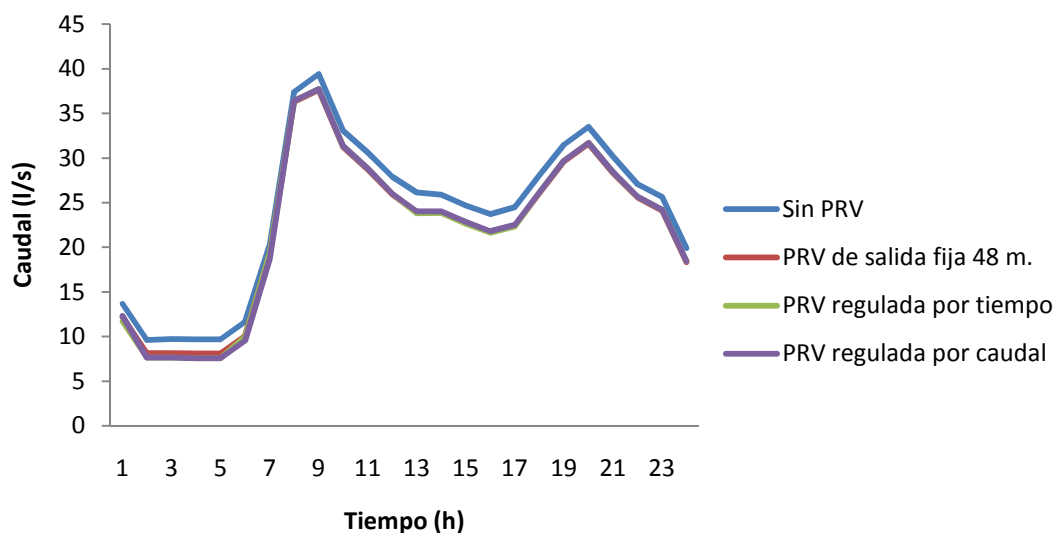


8.6. Discusión de los resultados

Procederemos a comparar los diferentes modos de control de presión.

El gráfico 14 muestra una primera comparación entre la situación inicial (red sin PRV) y con la PRV controlada por los distintos modos anteriormente estudiados.

Gráfico 14: Comparación red sin PRV con PRV controlada.



El flujo que pasa a través de la válvula disminuye notablemente como consecuencia de la disminución de la presión en la red y con ello el volumen de fugas.

Se ha de recordar que el consumo por parte de la población se mantiene constante puesto que en el modelo no se ha modificado. No obstante en la realidad esto no es del todo cierto, una disminución de la presión en la red de abastecimiento siempre conlleva una disminución en el consumo (la teoría de FAVAD también es aplicable aquí).

Por lo tanto la disminución de caudal en nuestro sistema es igual a la disminución del caudal de fugas. La tabla 9 muestra los valores numéricos de la curva de caudales así como el caudal total en la entrada al sistema.

El caudal se ve reducido más de un 7% con cualquiera de los diferentes modos de control a que se somete la válvula de reducción de presión. Esta reducción del caudal suministrado corresponde a la reducción del caudal de fugas debido a la disminución de la presión y por lo tanto a agua no facturada por la empresa subministradora (tabla 9).

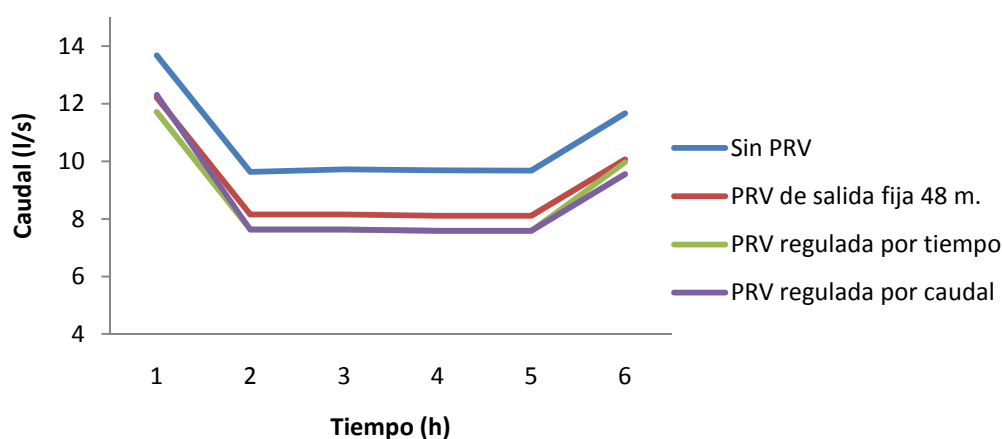
Tabla 9: Curva de caudales a la entrada al sistema y caudal total.

Tiempo (h)	Caudal sin PRV (l/s)	Caudal PRV instalada (l/s)		
		Salida fija 48 m	Regulada por tiempo	Regulada por caudal
0	13.68	12.22	11.71	12.32
1	9.63	8.15	7.63	7.63
2	9.72	8.15	7.63	7.63
3	9.69	8.11	7.59	7.59
4	9.68	8.11	7.59	7.59
5	11.67	10.07	9.97	9.56
6	20.28	19.25	19.35	18.74
7	37.39	36.3	36.4	36.4
8	39.41	37.62	37.72	37.72
9	33.08	31.23	31.33	31.33
10	30.62	28.72	28.82	28.82
11	27.89	25.89	25.99	25.99
12	26.13	23.93	23.82	24.03
13	25.89	23.93	23.84	24.03
14	24.66	22.73	22.63	22.83
15	23.72	21.72	21.62	21.82
16	24.48	22.43	22.33	22.53
17	28.09	26.07	26.17	26.17
18	31.49	29.59	29.69	29.69
19	33.48	31.61	31.71	31.71
20	30.18	28.34	28.44	28.44
21	27.09	25.56	25.67	25.67
22	25.65	24.11	24.21	24.21
23	19.89	18.34	18.44	18.44
Total (m ³ /día)		34.41	31.93	31.81
Ahorro anual (m ³)			904.69	945.86
% disminución caudal			-7.2	-7.5
				-7.4

El periodo comprendido entre las 1 y las 4 de la mañana corresponde al mínimo caudal nocturno. Estas horas son el momento del día en que la población realiza un menor consumo de agua y por lo tanto la mayor parte de este caudal se corresponde con las fugas. Por este motivo es el momento del día en que se hace más fácil observar el efecto de la reducción de presión.

Observando más detalladamente la parte señalada se hacen patentes estas diferencias (gráfico 15).

Gráfico 15: Mínimo caudal nocturno a la entrada del sistema.



Los resultados son muy parecidos pero cada sistema de control de presión presenta pequeñas variaciones operacionales que lo harán más indicado para unas situaciones o otras.

La instalación de una PRV con salida fija consigue muy buenos resultados con una inversión relativamente baja. No necesita ningún tipo de energía externa y el mantenimiento y las necesidades de mano de obra son pequeñas. No obstante este sistema solo permite fijar un único valor de presión de salida siendo difícil adaptar la presión a la curva de consumo.

La PRV controlada mediante temporizador permite disminuir, hasta valores mínimos, la presión en los momentos de mínimo flujo nocturno a la vez que ofrecer un muy buen nivel de servicio en los momentos de mayor consumo. Este modo de control necesita un suministro de energía exterior (batería por norma general) ya que incorpora diversos aparatos eléctricos para su funcionamiento. Su instalación y funcionamiento es algo más caro que el sistema anterior por lo que se deberá valorar si interesa realizar la inversión.

Por último el tercer caso, regulación por caudal, es el que ofrece una mayor adaptabilidad a la curva de caudales. Se puede programar de forma que en todo momento garantice la presión deseada pese a que la curva de caudales se vea desplazada o sufra grandes variaciones (variación verano-invierno, incremento de necesidades repentinas de agua, etc.) Su instalación se realiza conjuntamente con un caudalímetro. Es por ello que el correcto funcionamiento de la PRV pasa por la correcta instalación del caudalímetro. Es importante remarcar que el caudalímetro, si no viene incluido en la propia válvula, debe instalarse a una distancia mínima de la PRV para evitar errores de medición.