



Smart metering para el cálculo de la demanda de agua en tiempo real y mejora del rendimiento de la red

Emuasa, empresa municipal encargada de la gestión del ciclo integral del agua en la ciudad de Murcia, ha apostado por el desarrollo e implantación de tecnologías de *smart metering* con objeto de optimizar su gestión. El despliegue estratégico de esta tecnología, con un estudio detallado de curvas de distribución, análisis por sectores hidráulicos, análisis de tipos de clientes y el suministro espacio temporal en todos los puntos de consumo, ha permitido obtener una herramienta de predicción de la demanda en tiempo real y en continuo basada en métodos de muestreo y de inferencia estadística. El objetivo final es la reducción del volumen de agua no registrada y, por tanto, la mejora a la sostenibilidad ambiental del municipio.

Palabras clave

Telelectura, eficiencia hidráulica, agua no registrada, predicción demanda.

SMART METERING TO IMPROVE THE REAL-TIME DEMAND AND OPTIMIZE THE WATER NETWORK EFFICIENCY

Emuasa, as a municipal company responsible for managing the integrated water cycle in the city of Murcia (Spain), has opted for the development and implementation of smart metering technologies with the purpose of optimizing its management. The strategic deployment of this technology, in addition to a detailed study of distribution flow curves, analysis of district metered areas, analysis of sort of customers and the supply value in time and space of every point of consumption, has made it possible to obtain a continuous real-time demand prediction tool based on sampling and statistical inference methods. The final aim is the reduction of non revenue water volume and, therefore, the improvement of the municipality environment sustainability.

Keywords

Smart metering, water efficiency, non revenue water, consumption forecast.

Cristina Verdú Sandoval

ingeniera química, responsable de Eficiencia de Redes en la Empresa Municipal de Agua y Saneamiento de Murcia (Emuasa)

Simón Nevado Santos

ingeniero industrial, director de Operaciones en la Empresa Municipal de Agua y Saneamiento de Murcia (Emuasa)

María del Carmen Ruiz Abellón

licenciada en Matemáticas, profesora titular del Departamento de Matemática Aplicada y Estadística de la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT)



1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) están jugando un papel decisivo en la gestión de las ciudades y sus servicios. Para las gestoras de agua, uno de los aplicativos del despliegue de estas tecnologías es el control en tiempo real de puntos del sistema para medida de parámetros indicativos del estado de la red, entre ellos el volumen producido, distribuido y consumido en cualquier punto. Su implantación posibilita la apertura de nuevos horizontes en la gestión eficiente del servicio de suministro de agua.

El control de los caudales inyectados y distribuidos en una red de distribución normalmente está integrado en un sistema de telemando y telecontrol que permite su análisis en continuo. La novedad en los últimos tiempos es su aplicación al resto de medidores de los consumos en clientes. La obtención de accesorios de adquisición y almacenamiento de datos para cualquier equipo y la facilidad tanto por tecnología como por coste de la transmisión de información periódica ha posibilitado su aplicación masiva y extensión a los contadores de los clientes.

La telelectura o telemedición se define como el sistema que permite leer a distancia contadores de agua en tiempo real, pudiendo calcular los caudales circulantes y volúmenes consumidos en cualquier momento. La revolución de esta tecnología está relacionada con el avance en los sistemas de radiotransmisión y radiofrecuencia, mediante los cuales los contadores pueden comunicarse con múltiples plataformas de gestión.

2. LA TELELECTURA EN LA CIUDAD DE MURCIA

En la ciudad de Murcia, Emuasa,

empresa municipal encargada de la gestión del ciclo integral del agua, ha apostado por la implantación de sistemas de telelectura en los puntos de consumo de sus clientes de agua potable y de red de riego potable y no potable. Entre muchos de sus beneficios ofertados destaca la aplicación de esta tecnología para mejorar el control del agua registrada y de la eficiencia de la red y la reducción de las pérdidas de agua. Para ello, se está trabajando en la obtención de una herramienta de predicción de la demanda para el cálculo en continuo del volumen de agua consumida y registrada.

Los resultados obtenidos mediante esta herramienta de predicción a partir de telemidas y su comparación con otros datos de volúmenes y caudales procedentes de la monitorización en continuo de la red de distribución, permiten el análisis global y sectorizado de la red y la detección de incidencias de forma instantánea.

Además del cálculo del volumen de agua registrada, se han conseguido otros aplicativos:

- Cálculo del rendimiento técnico hidráulico y del volumen de agua no registrada en continuo o en un periodo de tiempo relativamente corto.
- Cálculo del volumen nocturno consumido en un determinado sector para cuantificar el caudal de fugas.
- Cálculo de perfiles de consumo.
- Correcto dimensionamiento del parque de contadores, principalmente de grandes clientes.
- Aplicación de una curva de volumen de agua registrada a la modelización matemática.
- Cálculo de un parte diario del volumen de agua registrada.

También resaltar que la telemedición es una herramienta para la gestión eficiente del recurso y que

ofrece múltiples beneficios tanto para la gestora como para el cliente, consecuencia de que el sistema es capaz de garantizar una correcta facturación de los consumos registrados, avisar al cliente en casos de detectar anomalías consumos excesivos, fugas interiores, etc., y ofrecer a los clientes un entorno adecuado para la autogestión de sus consumos.

A continuación se detallan las fases de desarrollo de esta herramienta de estimación del volumen de agua registrada en sectores pilotos y el desarrollo para su aplicativo a nivel global de la red.

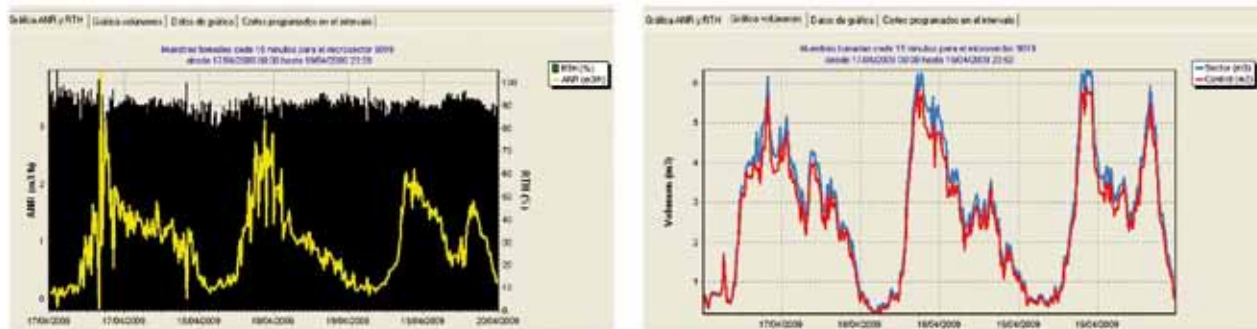
3. MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA

Emuasa presta servicio a unos 445.086 ciudadanos repartidos entre el núcleo urbano, la huerta y pedanías a lo largo y ancho de más de 890 km² a través de 2.185 km de red de abastecimiento. El parque de contadores está constituido por 185.827 unidades de distintos tipos, tamaños y calidades metrológicas.

En cuanto a la eficiencia del sistema, ante la escasez de recursos hídricos en la Región de Murcia, el aprovechamiento del agua y la mejora continua en la eficiencia del sistema es uno de los objetivos prioritarios para la empresa. En 2015, se consiguió alcanzar un rendimiento técnico hidráulico superior al 86% y un índice de pérdidas lineales inferior a 5 m³/km/día, lo que demuestra el esfuerzo mantenido y los buenos resultados obtenidos en la política de gestión de agua no registrada.

En los últimos años, Emuasa está apostando por la telemedición en los clientes de una forma secuencial y planificada, instalando contadores nuevos ya equipados con los equipos de transmisión adecuados o adaptando el módulo de comunica-

FIGURA 1. Ejemplos del volumen de agua no registrada y rendimiento de un sector.



ción en aquellos medidores compatibles. Actualmente, existe un parque de contadores teleleídos de 35.450 unidades, es decir, de un 19%

3.1. CÁLCULO DE LA DEMANDA EN TIEMPO REAL

La telemedición permite el cálculo de caudal y volumen en tiempo real de caudales inyectados y consumidos y, junto con otros aplicativos, permite configurar un sistema de vigilancia de rendimiento técnico hidráulico que calcula el rendimiento de la red y el volumen de pérdidas del sistema. El resultado es el seguimiento en tiempo real del estado de la red y la detección rápida de incidencias por fugas, averías, alertas de consumo excesivos.

El control de pérdidas en la red consigue los siguientes beneficios

- Disminución de la vida media de las averías y por tanto del volumen de agua perdido en las mismas.
- Aumento de la eficiencia de los recursos de detección de fugas puesto que irán orientados a los sectores donde se pueden observar alguna anomalía de caudal mínimo.
- Caracterización del volumen de agua no registrada del sector, es decir, determinación del volumen perdido por fugas en red, interiores, fraudes y el no medido por errores de conteo del contador.

- Caracterización de ratios de gestión: consumo mínimo nocturno, rendimiento de red respecto a los contadores generales, rendimiento de red respecto a los contadores divisionarios.
- Identificación y aviso de fugas interiores del cliente.

A continuación se muestra el cálculo de la curva de agua registrada en función de las telemedidas existentes para distintos sectores hidráulicos y la red global. Se ha configurado un sector piloto de 1.500 clientes con 100% de los consumos telemedidos. Para el resto, se ha recurrido a la estadística para identificar la muestra representativa del parque de contadores que permita estimar la curva de agua registrada.

3.2. CÁLCULO DE RENDIMIENTO EN CONTINUO EN SECTOR 100% TELEMEDIDO

En este caso, se ha instalado telelectura en el 100% de los contadores que configuran un sector de 4,35 km de red, principalmente de fundición dúctil, y 1.480 clientes de tipo doméstico. El resultado de este desarrollo ha sido una aplicación que permite consultar el rendimiento y el volumen de agua no registrada del sector de forma continua. La **Figura 1** muestra algunos ejemplos de informes obtenidos.

Con este sistema se calculan los volúmenes acumulados de los contadores de los clientes entre fechas/horas por sector hidráulico y se comparan con el volumen registrado por los contadores de control del sector hidráulico en las mismas franjas temporales y por los contadores de los clientes teleleídos.

Del análisis de datos destaca que el rendimiento se encuentra en torno al 95% y que los gráficos de consumo del contador de entrada al sector y de los consumidores son prácticamente iguales. Existen picos en los que el agua distribuida es superior a la de los consumos debido a errores de medida por subcontaje de los contadores de clientes que originan que el rendimiento no llegue al 100%. Además, el caudal mínimo nocturno del contador de alimentación al sector llega a valores de 0 m³/h en horas nocturnas, lo que es indicativo de que no existen fugas en la red de distribución.

3.3. CÁLCULO DE RENDIMIENTO EN CONTINUO EN SECTOR SIN TELEMEDICIÓN 100%

La implantación de telelectura en el 100% de los contadores tiene un alto coste y es fruto de una planificación estratégica dentro de la compañía. Llegar al 100% de los clientes con perfecta calidad en la recepción / transmisión de lecturas



es complejo a corto plazo. Además, el tipo de clientes (industrial, doméstico, comercial, etc), el principio de funcionamiento del contador, la antigüedad y la ubicación, condicionan el tipo de telelectura a instalar, el tipo de telecomunicaciones y de resolución de datos.

Por este motivo, para acometer el cálculo del volumen de agua registrada se recurre a métodos de muestreo y de inferencia estadística, donde la fase de muestreo tiene por objetivo determinar los clientes a los que convendría colocar telemedición y la fase de inferencia persigue realizar la estimación de agua registrada de la forma más precisa posible. La metodología seguida ha tenido las siguientes fases:

3.3.1. Análisis descriptivo inicial

Se analizan los tipos de clientes, sus consumos bimestrales por zona hidráulica, sus consumos por usos y la repercusión en el consumo global de las altas y bajas a lo largo del año. Se pretende estudiar cómo se reparte el consumo registrado con el fin de determinar criterios que nos sirvan para realizar agrupaciones homogéneas (*clusters*) de clientes.

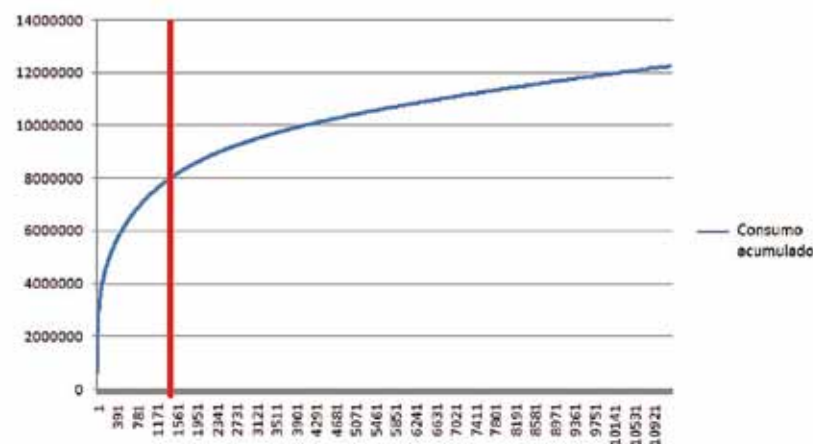
3.3.2. Determinación de los clientes que no interesa muestrear (*take nothing*)

El 11% de los clientes (los menores consumidores) supone un consumo global inferior a 0,5% y, además, ya se dispone de telemedición suficiente en clientes de estas características debido a las nuevas altas.

3.3.3. Determinación de los clientes que sí deben tener telelectura. (*take certain*)

Existen abonados que aportan grandes consumos a lo largo de todo el

FIGURA 2. Evolución del consumo facturado acumulado para los clientes de Emuasa.



año y que es necesario identificar e instalarles telemedición para mejorar la estimación de agua registrada. Estos consumidores pueden consumir de forma homogénea durante todo el año o concentrar su consumo en bimestres particulares. En el caso de Murcia, el 0,8% de los clientes consumen un 30% del total. Se monitoriza el consumo de todos ellos para disminuir el error de estimación.

La **Figura 2** muestra la evolución del consumo facturado acumulado para los clientes ordenados de mayor a menor consumo. Como se puede observar, los mayores consumidores proporcionan un rápido crecimiento del consumo acumulado, crecimiento que se ve atenuado de forma significativa a partir de unos 1.500 clientes. Por tanto, las telemedidas que no deben faltar son las correspondientes a esos 1.500 mayores consumidores, que son aquellos con consumo superior a 1.000 m³/año.

3.3.4. Determinación del resto de la muestra

Es necesario determinar con qué otros se debe completar la muestra con el fin de que sea representativa y permita realizar una estimación adecuada de agua registrada. Para

completar la muestra, se realizó un análisis de componentes principales previo usando las seis facturaciones bimestrales de los clientes en un año. El análisis concluyó la presencia de una sola componente capaz de explicar más del 90% de variabilidad de los consumos bimestrales. Con los valores de dicha componente principal, se realizó estratificación LH (Lavallee-Hidiroglou) y se determinó con el criterio de Neyman el tamaño muestral necesario para cometer un error de estimación inferior al 1,5% en el consumo registrado bimestral.

3.3.5. Aprovechamiento de telemedición en zonas hidráulicas afines

Como uno de los objetivos es estimar el agua registrada diaria por zonas hidráulicas, el proceso de muestreo descrito anteriormente debería realizarse en cada uno de los sectores, lo que daría lugar a la necesidad de colocar gran número de aparatos de telelectura. Sin embargo, parece lógico pensar que algunas telemediciones podrían ser aprovechables para varias zonas hidráulicas, por tratarse de un cliente cuyo consumo sería similar al de otros situados en zonas distintas.

En este sentido, se realizó una clasificación de las zonas hidráulicas en grupos homogéneos (*clusters*), atendiendo a la forma de su curva de agua inyectada a lo largo de más de dos años (910 días). El resultado del análisis mostró la presencia de tres grupos (**Tabla 1**), cuyos perfiles de agua distribuida se presentan en la **Figura 3**.

El Grupo 1 (curva negra) se caracteriza por una reducción significativa de agua distribuida en los veranos, al contrario del Grupo 3 (curva verde) que muestra crecimiento en el agua inyectada durante los veranos. Por último, el Grupo 2 (curva roja) presenta tendencia decreciente en durante el tramo de tiempo analizado.

La **Tabla 1** muestra la clasificación de los sectores hidráulicos en los tres grupos mencionados anteriormente. Por ejemplo, se observa que las zonas 80, 18, 19, 17... y 63a pertenecen al Grupo 1. Por tanto, si alguna de estas zonas tuviera actualmente poca telemetración, se podría usar parte de la telemetración de otras zonas de dicho grupo para el cálculo de la estimación final.

3.3.6. Cálculo de la estimación de agua registrada diaria.

Por último, una vez que se dispone de la muestra de telemetración, se realiza el proceso de estimación de agua registrada diaria realizando las correcciones oportunas en el caso de que la muestra disponible no sea del todo representativa.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

La metodología descrita de estimación del agua registrada se ha completado de forma rigurosa para 3 sectores hidráulicos. Las conclusiones para cada sector se explican a continuación.

TABLA 1 CLASIFICACIÓN DE LOS SECTORES HIDRÁULICOS EN LA CIUDAD DE MURCIA.											
Grupo 1 (16 zonas)				Grupo 2 (21 zonas)				Grupo 3 (34 zonas)			
								z1	z2	z3	z4
								z5	z6	z7	z14
z80	z18	z19	z17	z8	z10	z11	z12	z16	z20	z21	z25
z5	z9	z26	z44	z13	z15	z22	z23	z27	z30	z31	z34
z66	z67	z68	z70	z29	z33	z38	z42	z35	z46	z47	z48
z71	z79	z97	z63a	z43	z52	z54	z59	z51	z53	z56	z57
				z69	z72	z81	z95	z60	z64	z73	z74
						z63c		z75	z76	z77	z78
								z93	z94	z100	

FIGURA 3. Perfiles de agua distribuida según sectores en la ciudad de Murcia.

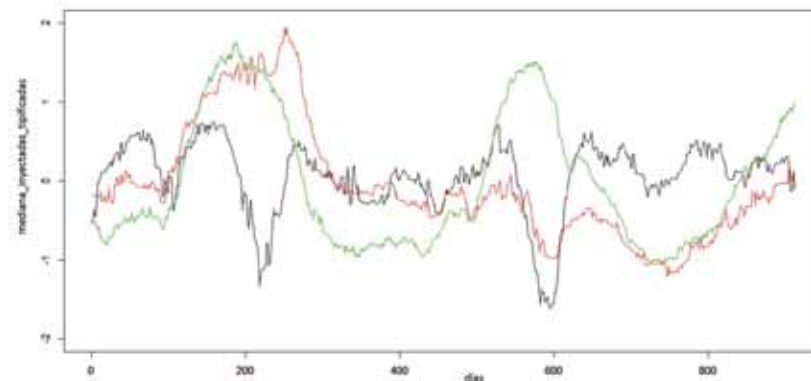
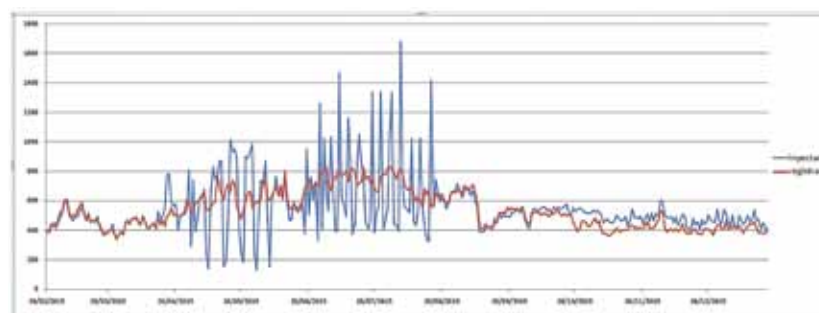


FIGURA 4. Caudales distribuidos y estimados en el sector ZH74 de Murcia.



4.1. SECTOR ZH74: LA LADERA

Se trata de un sector hidráulico de 15,297 km de red y 928 clientes, con la muestra de telemetración sobre dimensionada.

Como se observa en la **Figura 4**, los valores de agua distribuida (azul) frente a la estimación de la registrada (rojo) son casi idénticos, o incluso a veces supera el agua

estimada a la inyectada, indicativo de un subcuenta en el contador de entrada al sector como así se comprobó. Existe un tramo entre abril y agosto en el que se modificó el tipo de suministro y provocó que no se semejen las curvas de registrada y distribuida. En la **Tabla 2** se muestra la comparativa del consumo facturado en cada bimestre real



TABLA 2

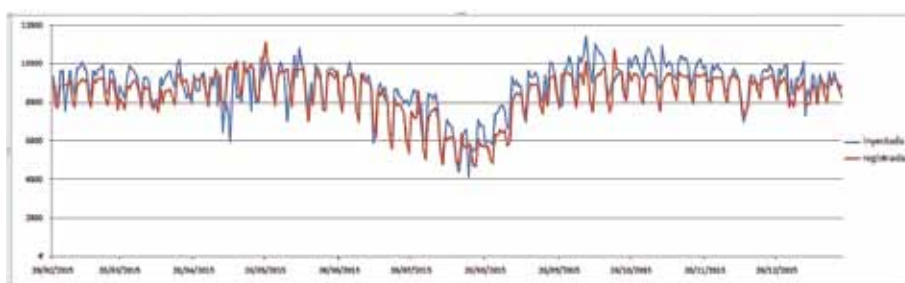
COMPARATIVA DEL CONSUMO FACTURADO EN CADA BIMESTRE REAL Y LA ESTIMACIÓN CON LA METODOLOGÍA PROPUESTA POR EMUASA PARA EL SECTOR ZH70: LA LADERA.

Bimestre	Fechas lectura	Suma facturada (m ³)	Suma estimada (m ³)	Error (%)
B3	06/03/2015 - 06/05/2015	30.694	29681,19208	3,3%
B4	06/05/2015 - 07/07/2015	41.121	41777,50234	-1,6%
B5	07/07/2015 - 07/09/2015	41.467	43357,60152	-4,5%
B6	07/09/2015 - 09/11/2015	29.313	28516,5842	2,7%
Tramo B3-B6	06/03/2015 - 09/11/2015	142.595	141563,3179	0,7%

y la estimación con la metodología propuesta: se incurre en un error de estimación global de 0,7% en los cuatro bimestres.

4.2. SECTOR ZH80: MURCIA CENTRO

Sector hidráulico de mayor consumo y que dispone del tamaño de telemedición adecuado para cualquier intervalo de consumo. La **Figura 5** representa los caudales distribuidos (curva azul) y estimados (curva roja). Se observaron errores en la integración de los caudales distribuidos y un descenso importante de consumo en los meses de verano.

FIGURA 5. Caudales distribuidos y estimados en el sector ZH80 de Murcia.


En la **Tabla 3** se muestra la comparativa del consumo facturado en cada bimestre y la estimación. Se observa que los mayores errores se producen en los bimestres B4-B5. Este aumento se debe a la variabi-

lidad de las fechas de lectura para facturar por tratarse de un sector muy grande y a las ausencias de lecturas entre los B4 y B5. El error de estimación acumulada ha resultado solo del 1%.

TABLA 3

COMPARATIVA DEL CONSUMO FACTURADO EN CADA BIMESTRE REAL Y LA ESTIMACIÓN CON LA METODOLOGÍA PROPUESTA POR EMUASA PARA EL SECTOR ZH80: MURCIA CENTRO.

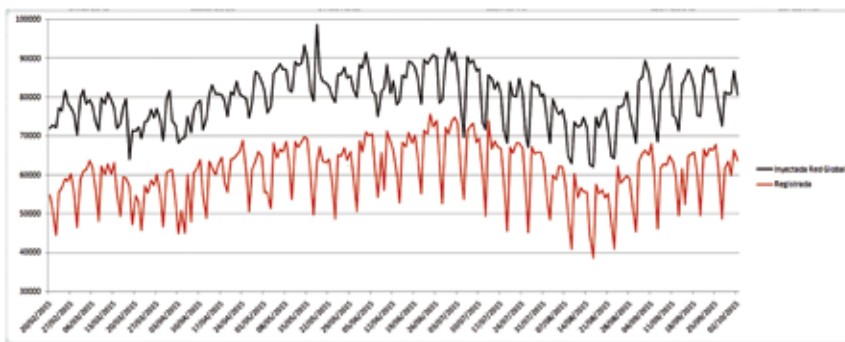
Bimestre	Fechas lectura	Suma facturada (m ³)	Suma estimada (m ³)	Error (%)
B3	09/03/2015 - 08/05/2015	545.554	534811,1776	1,9%
	...			
B4	30/04/2015 - 30/06/2015	457.141	506700,8055	-10,1%
	08/05/2015 - 09/07/2015			
B5	30/06/2015 - 31/08/2015	494.612	465837,7224	5,8%
	09/07/2015 - 09/09/2015			
B6	31/08/2015 - 30/10/2015	537.984	540246,4726	-0,4%
	09/09/2015 - 09/11/2015			
Tramo B3-B6	09/03/2015 - 08/05/2015	2.035.291	2025280,72	0,5%
	...			
	30/10/2015 - 31/12/2015			

4.3. RED GLOBAL

A pesar de que la instalación de telemetría no está completada a nivel global, se realizó una primera estimación para valorar los errores de estimación acumulados a lo largo del tramo analizado.

Los resultados obtenidos (**Figura 6**) señalan que el agua registrada (curva roja) se comporta de forma similar a la inyectada (curva negra), pero presentando más variabilidad semanal la registrada que la inyectada. Concretamente, las caídas de los fines de semana y festivos son más pronunciadas en el agua registrada que en la distribuida, lo que conlleva a que la muestra disponible tiende a subestimar en este tipo de días entre otros motivos por la falta de grandes consumidores.

FIGURA 6. Errores de estimación acumulados del agua registrada y del agua inyectada en la red global de Emuasa.

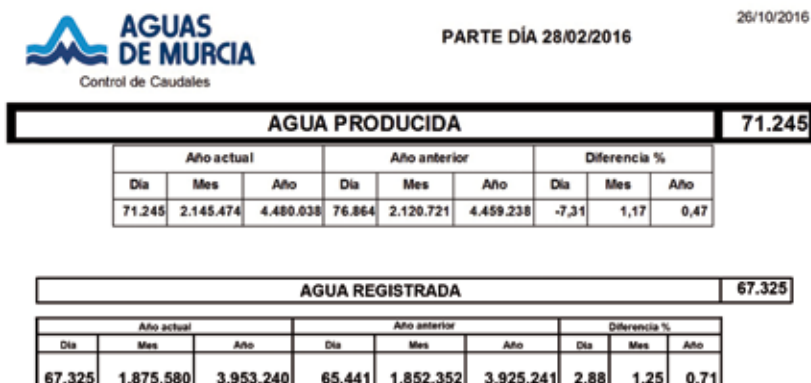


5. CONCLUSIONES

La telelectura abre un nuevo horizonte para la mejora de la eficiencia del sistema. El cálculo del volumen de agua registrada en tiempo real va a permitir reducir el volumen de agua no registrada y discriminar las causas que lo originan para ser más efectivos en la aplicación de sus medidas correctivas.

Puesto que la telelectura es una tecnología cara que se irá implantando de forma secuencial, desde Emuasa se quiere obtener el máximo beneficio lo antes posible y se ha estudiado un método de estimación

FIGURA 7. Ejemplo de informe de control del agua producida en la red de distribución de Emuasa.



estadístico para calcular cada día de forma estimada el volumen de agua registrada. El error de estimación del método se irá reduciendo a medida que se vaya cubriendo la muestra de clientes objeto de la instalación de la telelectura.

El objeto final es llegar al desarrollo diario de un informe de este tipo, similar al generado para el control del agua producida tanto para la red global como para los sectores hidráulicos que componen la red de distribución (**Figura 7**).

» Puesto que la telelectura es una tecnología que debe ir implantándose de forma secuencial en la ciudad de Murcia, desde Emuasa se ha estudiado un método de estimación estadístico para calcular cada día el volumen de agua registrada. El error de estimación se irá reduciendo a medida que se cubra la muestra de clientes objeto de la instalación de la telelectura