

Sustitución de bombeos aspirando de depósitos de rotura de carga por bombeos con aspiración directa de red. El caso de la estación de bombeo de Adsubia-Cabanes (Jávea)

V.B. Espert Alemany⁽¹⁾, J.Ll. Henarejos Cardona⁽²⁾
E. Cabrera Marcet⁽¹⁾, P. Ladrón de Guevara Diego⁽²⁾

⁽¹⁾ Grupo ITA. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n. 46022 Valencia

⁽²⁾ Aguas Municipales de Jávea, S.A. Camí Cabanes 88. 03730 Jávea (Alicante)

1. Introducción

En sistemas de distribución de agua urbanos, en los puntos donde la presión es insuficiente para abastecer adecuadamente una parte de la red, se instalan estaciones de bombeo que refuerzan la presión solamente en esta parte del sistema. Es el caso, por una parte, de los grupos hidropresores instalados en edificios altos, mediante los cuales se puede suministrar sin problemas a partir de aproximadamente el tercero o cuarto piso. Y por otra parte están las estaciones de bombeo que impulsan el agua de la red hacia sectores con cota elevada, los cuales no pueden ser suministrados directamente desde el o los puntos de cabecera del sistema.

Tanto en unos casos como en otros la aspiración de los grupos de bombeo se puede realizar desde depósitos a presión atmosférica, los cuales se alimentan del agua de la red (depósitos de rotura de carga), o bien aspirando directamente de la propia red. En el caso del bombeo desde depósitos de rotura de carga el agua de alimentación de los grupos de bombeo se despresuriza al entrar al depósito, perdiendo la energía de presión de la que dispone en el interior de la red (Cobacho *et al.*, 2012). En este caso los transitorios de puesta en marcha o parada de los grupos de bombeo no afectan al sistema de distribución.

En el caso de aspiración directa de red se aprovecha la energía de presión del agua aspirada, con lo cual la altura de bombeo y la energía consumida en la impulsión son menores. Esta es una razón importante que justifica la adopción de esta solución, máxime con el ahorro en potencia contratada y en consumo energético que se puede conseguir. Además, de esta manera se contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que supone el ahorro en consumo energético (Basupi *et al.*, 2014). Pero en

contra de esta solución actúa el hecho de que los transitorios originados por las maniobras de los grupos de bombeo pueden llegar a afectar a la red (Davis, 2010; Soriano *et al.*, 2014), lo que obliga en instalaciones de importancia a disponer de adecuados sistemas de protección contra transitorios hidráulicos.

En este sentido, la presente comunicación trata sobre la sustitución de los grupos de la estación de bombeo de Adsubia-Cabanes, la cual ha estado aspirando de un depósito de rotura de carga alimentado desde la red de distribución de agua potable de Jávea, por nuevos grupos de bombeo con aspiración directa de red. Se definen además los sistemas de protección contra transitorios hidráulicos a instalar tanto en la parte de aspiración como en la de impulsión de la estación de bombeo modificada, en los cuales se combinan calderines con válvulas de protección. Para llevar a cabo el estudio se utiliza el programa Allievi para cálculo y simulación de transitorios hidráulicos.

2. Configuración del sistema a estudiar

El sistema a estudiar está constituido por la red de distribución de agua potable del municipio de Jávea, junto con las derivaciones e impulsiones que, tomando el agua de dicha red, abastecen diferentes urbanizaciones o núcleos de población separados de dicho municipio. En la figura 1 se presenta un esquema simplificado de la red, el cual ha sido utilizado por el programa Allievi para simular el funcionamiento del sistema en las condiciones actuales (entendemos como condiciones actuales la situación de la estación de bombeo antes de las modificaciones propuestas), y futuras. En este esquema distinguimos los siguientes elementos:

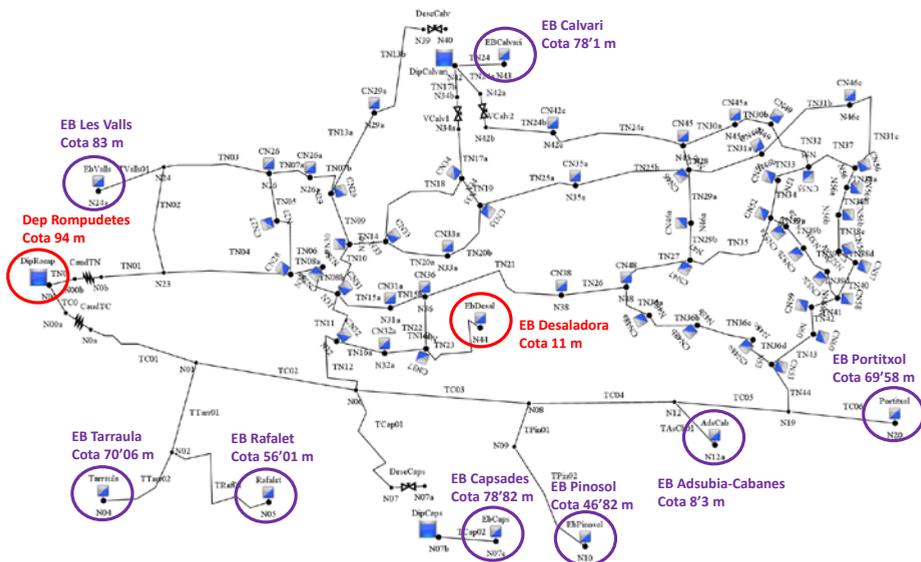


Figura 1. Esquema simplificado de la red de distribución de Jávea.

- Puntos de alimentación de la red, constituidos por el depósito de Romputetes a la cota 94 m, y la estación de bombeo de la Planta Desaladora a la cota 11 m. Esta estación de bombeo inyecta el agua a la red mediante una bomba de velocidad variable con una presión de consigna de 6'8 bar
- Posición de las estaciones de bombeo que toman el agua de la red, unas mediante aspiración directa (Pinosol y Les Valls), y las otras mediante depósito de rotura de carga. Estas estaciones de bombeo abastecen diferentes urbanizaciones o núcleos de población

Observando la altura piezométrica de los puntos de alimentación de la red (94 m en el depósito de Romputetes y 80'32 m a la salida de la estación de bombeo de la Planta Desaladora), se deduce uno de los problemas importantes que presenta el funcionamiento del sistema en estudio: El caudal impulsado por las estaciones de bombeo que toman el agua de los depósitos de rotura de carga se despresuriza al entrar a dichos depósitos, para luego volver a presurizarlo cuando se impulsa a sus respectivas zonas de consumo. Ello representa una pérdida de energía importante, la cual se podría evitar si estas estaciones de bombeo aspirasen directamente de la red.

Sin embargo, y considerando las cotas a las que se sitúan dichas estaciones de bombeo, la pérdida de energía más importante se produce en la estación de bombeo de Adsubia-Cabanes. En verano, época de mayor consumo en la red, la presión en el punto de descarga al depósito de rotura de carga de dicha estación de bombeo es del orden de 6'2 bar, con un caudal medio impulsado de unos 100 l/s. En estas condiciones, la potencia perdida se puede cifrar en 62 kW.

Por otra parte en invierno, con menores caudales consumidos, la presión en el punto de descarga al depósito es de unos 6'8 bar, el caudal medio impulsado del orden de 30 l/s, y la potencia perdida de unos 20'4 kW.

El ahorro en la facturación eléctrica que esta potencia perdida puede significar, si se sustituyen los grupos de bombeo por otros con aspiración directa de red, justifica el planteamiento de un estudio para asegurar o no la viabilidad de estas actuaciones.

3. Datos disponibles

Para llevar a cabo el estudio se dispone, además de la topología de la red simplificada, de mediciones de presión y/o caudal en determinados puntos del sistema. En concreto estos puntos son la salida de los dispositivos de alimentación del sistema (depósito de Romputetes y estación de bombeo de la Planta Desaladora), la aspiración de las estaciones de bombeo en línea, y los puntos de descarga a los depósitos de rotura de carga. Estas mediciones, con una periodicidad de 5 minutos, corresponden a un día típico de verano y otro de invierno, como representativos del funcionamiento de la red en las distintas estaciones del año.

Con los caudales medidos se estima, de forma aproximada, la evolución de consumos en los diferentes nudos de suministro para los días de verano e invierno para los que se dispone de mediciones de caudal. Como resumen, en la tabla 1 se indica los volúmenes de entrada a la red, de salida por los nudos de conexión con las estaciones de bombeo, y los volúmenes distribuidos en nudos de consumo. Se indica también el caudal medio distribuido esos días. En esta tabla se aprecia cómo los volúmenes de agua gestionados por la red en un día de verano son bastante mayores que los gestionados en un día de invierno, situación típica de una población turística como es Jávea.

| | Vol entrada (m ³ /día) | Vol salida (m ³ /día) | Vol distribuido (m ³ /día) | Q medio distrib (l/s) |
|--------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--|--------------------------|
| Día verano | 34.931'24 | 17.101'18 | 17.830'05 | 206'34 |
| Día invierno | 18.055'23 | 5.526'25 | 12.528'98 | 144'81 |

Tabla 1. Volúmenes de entrada y salida del sistema en días de verano y de invierno.

En la figura 2 se presenta la curva de modulación de consumos de los días con mediciones disponibles, las cuales se obtienen dividiendo la evolución de caudales distribuidos por los nudos de consumo, entre el caudal medio de esos nudos indicado en la tabla 1. La curva de modulación de consumos del día de invierno muestra valores del coeficiente de modulación anormalmente elevados en horas nocturnas. Ello es debido a los consumos de agua para riego de jardines y parcelas particulares, que se programan generalmente para esas horas del día. La curva de modulación de consumos del día de verano muestra también valores elevados en horas nocturnas, a causa de nuevo de los caudales de riego. Pero en este caso los valores nocturnos son menores que en el día de invierno, por el hecho de que quedan más diluidos por el mayor consumo global durante el día.

Con los datos disponibles se ha simulado el comportamiento de la red durante 24 horas de funcionamiento de un día de verano y otro de invierno, imponiendo la evolución de los caudales de entrada desde la estación de bombeo de la Planta Desaladora, y de salida por los nudos con consumo y por los nudos de conexión con las estaciones de bombeo. Para llevar a cabo esta simulación se ha hecho uso del programa Allievi para cálculo y simulación de transitorios hidráulicos. Como resultado de la simulación se obtienen, entre otros, la evolución de caudales entrantes al sistema desde el depósito de Romputetes y la evolución de presiones en los nudos del sistema, especialmente en aquellos para los cuales se dispone de mediciones.

A pesar de las diferencias observadas entre valores calculados y medidos, inevitables en este tipo de simulaciones, el modelo elaborado se considera validado y apto para simular el funcionamiento del sistema cuando se modifica la estación de bombeo de Adsubia-Cabanes en las condiciones que se presentan en los apartados siguientes.



Figura 2. Coeficiente de modulación de consumos. Días de verano y de invierno.

4. Modificaciones en la estación de bombeo de Adsubia-Cabanes. Aspiración directa de red

Como ya se ha comentado, en la situación actual la estación de bombeo de Adsubia-Cabanes aspira del correspondiente depósito de rotura de carga alimentado por la red de distribución de Jávea. En dicha situación esta estación de bombeo dispone de cinco grupos multicelulares horizontales de media o alta presión, acoplados en paralelo, siendo la potencia total de equipamiento 743 kW. Estos grupos descargan el agua a un colector de impulsión, con una presión del orden de 15'5 bar, del cual sale un conducto que alimenta el depósito de Teulada y otro que alimenta simultáneamente los depósitos de El Tossalet y La Guardia. El caudal impulsado hacia el depósito de Teulada se regula mediante una válvula de accionamiento manual a la entrada del mismo, mientras que en los depósitos de Tossalet y La Guardia el caudal de entrada se regula mediante sus correspondientes válvulas de llenado con flotador.

En la figura 3 se indica el esquema simplificado de la estación de bombeo de Adsubia-Cabanes con la configuración propuesta. Según esta configuración, la estación de bombeo modificada tendrá dos impulsiones independientes, una con 2+1 grupos que impulsarán caudal hacia el depósito de Teulada, y otra con 3+1 grupos para la impulsión hacia el depósito de La Guardia. Todos los grupos aspirarán de un colector común, conectado con la red de distribución en el mismo punto donde actualmente conecta el depósito de rotura de carga de esta estación de bombeo (nudo N12 en las figuras 1 y 3).

Si en la situación actual los grupos de bombeo impulsan hacia un colector común a la presión de 15'5 bar, esta presión queda justificada por la diferencia de cotas entre la estación de bombeo y el depósito de La Guardia (figura 3), aunque es superior a la necesaria para alcanzar los depósitos de Teulada y Tossalet. Por ello, la solución de

independizar la alimentación de las dos impulsiones permite reducir el consumo energético debido tanto a la presión disponible en el punto de toma de la estación de bombeo, como a la reducción de altura de bombeo hacia el depósito de Teulada.

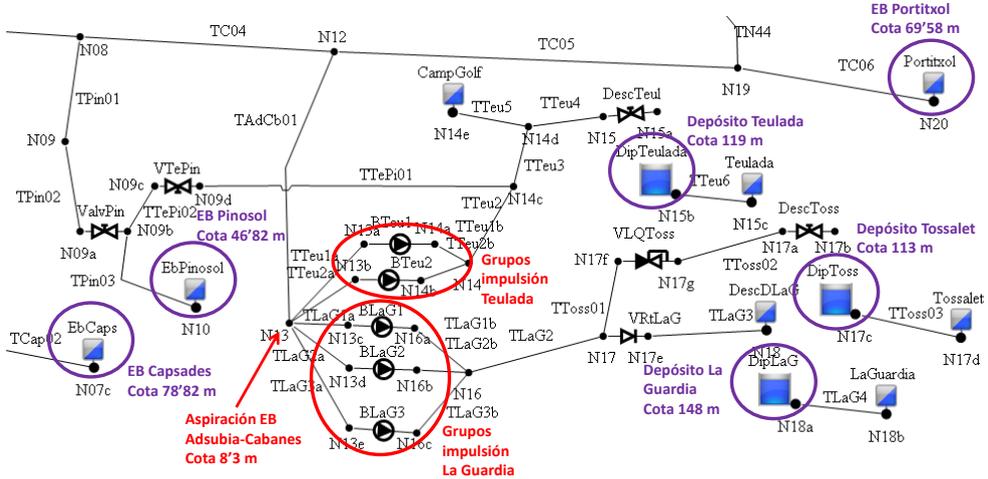


Figura 3. Esquema simplificado de la estación de bombeo de Adsubia-Cabanes. Solución propuesta.

En la tabla 2 se indica, para cada impulsión, el caudal medio impulsado y el punto de funcionamiento nominal de las bombas a instalar en la estación de bombeo de Adsubia-Cabanes modificada.

| | Nº de bombas | Q medio impuls. (l/s) | Punto de funcionamiento | | |
|----------------|--------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|
| | | | Q _{b0} (l/s) | H _{b0} (m) | P _{acc0} (kW) |
| Dep Teulada | 2 + 1 | 25 | 20 | 55 | 13'5 |
| Dep La Guardia | 3 + 1 | 80 | 30 | 80 | 29'4 |

Tabla 2. Punto de funcionamiento nominal de las bombas a instalar en la estación de bombeo de Adsubia-Cabanes modificada.

5. Transitorios por parada simultánea de los grupos de la estación de bombeo de Adsubia-Cabanes modificada

Se ha simulado el comportamiento de la red de distribución de Jávea cuando se produce la parada accidental, por fallo en el suministro eléctrico, de los grupos de la estación de bombeo de Adsubia-Cabanes modificada. En estas condiciones se diseñarán los sistemas de protección para evitar oscilaciones de presión excesivas en el sistema. Como el instante de parada accidental de los grupos puede ser cualquiera, se han llevado a cabo diferentes simulaciones a intervalos de tiempo de 2 horas, con los consumos considerados como datos para un día de verano y otro de invierno.

En la figura 4 se indica el esquema simplificado de la estación de bombeo propuesta, en el que se incluye el sistema de protección contra transitorios hidráulicos completo. A esta solución se ha llegado de manera progresiva, como se verá a continuación. Como criterio de diseño del sistema de protección se ha impuesto la condición de que la parada simultánea de los grupos de bombeo de la estación Adsubia-Cabanes no produzca, en los nudos de la red, sobrepresiones mayores de 25 mca.

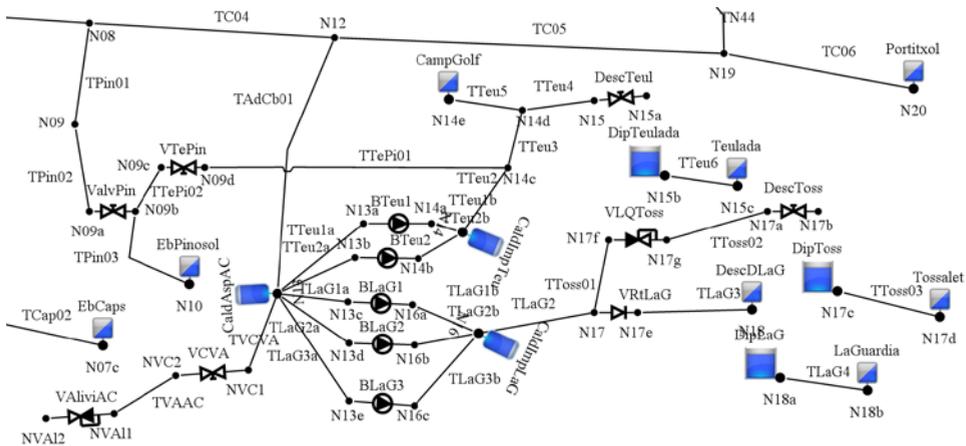


Figura 4. Esquema simplificado de la estación de bombeo de Adsubia-Cabanes. Solución propuesta con sistema de protección contra transitorios hidráulicos.

5.1. Protección mediante calderines en la estación de bombeo

Como sistema de protección contra transitorios hidráulicos se dispondrá inicialmente de un conjunto de calderines conectados unos al colector de aspiración de los grupos de Adsubia-Cabanes, otros al colector de impulsión hacia el depósito de Teulada, y el resto al colector de impulsión hacia el depósito de La Guardia (figura 4). En esta etapa las válvulas VALiviAC y VCAC, así como las correspondientes tuberías de conexión, no se consideran.

La misión de los calderines conectados al colector de aspiración de la estación de bombeo es proteger la red de las oscilaciones de presión originadas por las maniobras de los grupos de bombeo. A su vez, los calderines conectados a los colectores de impulsión de los grupos de Teulada y La Guardia protegerán sus respectivas impulsiones.

Tras diferentes simulaciones se concluye que para conseguir una adecuada protección del sistema se requieren dos calderines de 15 m³ conectados al colector de aspiración de la estación de bombeo, uno de 4 m³ conectado al colector de impulsión hacia el depósito de Teulada, y dos de 4 m³ conectados al colector de impulsión hacia el depósito de La Guardia. Todos estos calderines serán horizontales con vejiga, sin válvula de retención ni by-pass en sus correspondientes tuberías de entronque.

5.2. Protección mediante calderines en la estación de bombeo, con válvula de alivio conectada al colector de aspiración

A la vista de los resultados obtenidos en las diferentes simulaciones, cabe la posibilidad de instalar una válvula de alivio (VALiviAC en la figura 4) conectada al colector de aspiración de la estación de bombeo. De esta manera es posible reducir las necesidades de protección mediante calderín en el lado de aspiración, manteniendo el criterio de que las sobrepresiones máximas en la red no superen los 25 mca. Los calderines de la parte de impulsión son adecuados y no admiten modificaciones.

Cuando se utiliza una válvula de alivio como sistema de protección, resulta de vital importancia decidir cuál debe ser la presión de tarado de dicha válvula. Si esta presión es excesivamente baja, sería posible que en determinadas circunstancias la presión en el nudo de entrada a la estación de bombeo (nudo N13) supere la presión de tarado, abriéndose la válvula de alivio y proyectando agua al exterior en condiciones de funcionamiento habituales. Pero si la presión de tarado fuese excesivamente alta, las sobrepresiones máximas producidas en algunos nudos de la red tras la parada simultánea de los grupos de bombeo podrían superar los 25 mca que se ha fijado como criterio de diseño de los sistemas de protección.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, y después de realizar simulaciones con diferentes combinaciones de datos referidos a la válvula de alivio y a los calderines del lado de aspiración, la solución que parece más viable es la de instalar una válvula de alivio de DN 150 mm, tipo asiento plano o similar, tarada a una presión de 75 mca = 7'36 bar. Esta presión es entre el 10 y el 15 % superior a la presión máxima en el nudo N13 en condiciones habituales de funcionamiento del sistema. La válvula de alivio se combinará con un calderín horizontal, de vejiga, de volumen total 5 m³, en lugar de los dos calderines de 15 m³ cada uno de ellos propuestos inicialmente.

En las simulaciones realizadas tras parar las bombas cada 2 h, se pone de manifiesto que en unos pocos casos, tanto en verano como en invierno, la válvula de alivio no llega a cerrar durante el tiempo de simulación del transitorio (300 s en cada caso). Ello se interpreta como que la presión a la entrada de la estación de bombeo, tras la parada de los grupos, tiende a un valor mayor que la presión de tarado de la válvula de alivio (75 mca). No sería admisible que, tras la parada de las bombas, la válvula de alivio permaneciese abierta un tiempo excesivamente largo. Y, por otra parte, no sería conveniente tarar la válvula de alivio a una presión mayor que los 75 mca propuestos.

5.3. Protección mediante calderines, válvula de alivio y válvula de cierre

Se podría utilizar la válvula de alivio como sistema de protección contra los transitorios originados por la parada de los grupos de bombeo, como se ha visto en el apartado anterior, si se intercalase una válvula de cierre (por ejemplo, válvula de mariposa de DN 150 mm accionada por contrapeso) entre el colector de aspiración de la estación de bombeo y la entrada de la válvula de alivio. Es la válvula VCVA indicada en la figura 4.

Durante el funcionamiento normal del sistema la válvula de cierre estará abierta y la válvula de alivio cerrada. En el momento en que se desconectan los grupos de bombeo, o en el momento en que se desconecta el último grupo en marcha, la válvula de mariposa debería empezar a cerrar con un tiempo de cierre de por ejemplo 120 s (2 minutos). De esta manera, si la válvula de alivio abre durante el transitorio originado por la parada de los grupos y no llega a cerrar, el cierre de la válvula de mariposa cortará la salida de agua por la válvula de alivio provocando también el cierre de esta última. Posteriormente la válvula de mariposa deberá abrir automáticamente cuando al menos uno de los grupos se ponga en marcha.

A título orientativo, en la figura 5 se presenta la evolución de la presión en el nudo N13, conexión de la estación de bombeo, y el caudal descargado por la válvula de alivio tras la parada simultánea de todas las bombas en marcha producida a las 17 h de un día de invierno. Se puede observar que, tras la parada de las bombas, la presión a la entrada de la estación de bombeo tiende al valor de 76 mca, lo que impediría el cierre de la válvula de alivio. Sin embargo el caudal descargado por esta válvula, que tendería a un valor de 90 l/s, se reduce a cero hacia los 120 s después de la parada de las bombas. Ello es debido al cierre de la válvula de mariposa aguas arriba de la válvula de alivio.

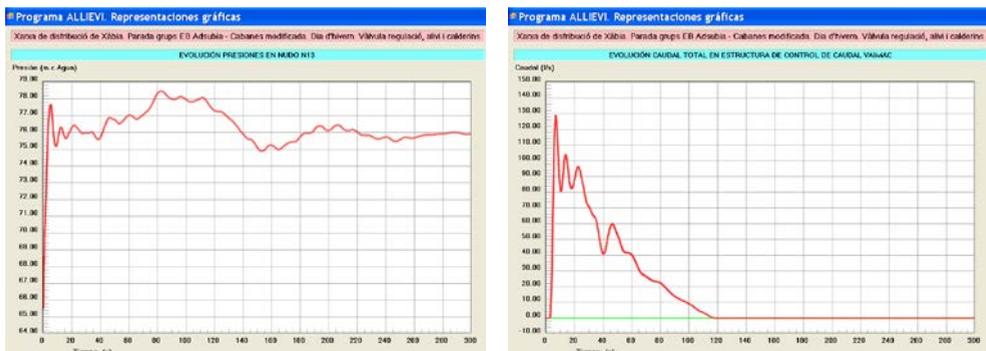


Figura 5. a) Evolución de presiones en el nudo de toma de la estación de bombeo de Adsubia-Cabanes modificada. b) Evolución del caudal descargado por la válvula de alivio.

6. Ahorro energético obtenido al modificar la estación de bombeo de Adsubia-Cabanes

Las modificaciones de la estación de bombeo de Adsubia-Cabanes propuestas fueron aceptadas en su momento, de manera que en julio de 2014 dichas modificaciones entraron en servicio. Con la experiencia acumulada desde esa fecha hasta el momento, la empresa que gestiona la red de distribución de agua potable de Jávea indica los resultados medios, en relación con el funcionamiento de la mencionada estación de bombeo, que figuran en la tabla 3.

| | Anterior | Modificado |
|--|----------|------------|
| Potencia eléctrica contratada (kW) | 320 | 190 |
| Consumo energético medio (kWh/día) | 3.664 | 1.857 |
| Coste medio consumo energético (€/día) | 593'26 | 300'68 |

Tabla 3. Consumo eléctrico medio de la estación de bombeo de Adsubia-Cabanes modificada.

De lo indicado en la tabla 3 se deduce que, tanto el consumo energético medio como el coste medio diario de este consumo, se reducen aproximadamente a la mitad con la modificación de la estación de bombeo de Adsubia-Cabanes. Cabe resaltar el hecho que el ahorro anual en energía eléctrica consumida se puede cifrar en unos 652'3 MWh, lo que evita una emisión de gases de efecto invernadero de 293'5 Tm de CO_{2e}/año. A su vez, el ahorro económico en facturación eléctrica viene a ser de unos 106.792 €/año. Todas estas cantidades justifican las modificaciones realizadas en la estación de bombeo de Adsubia-Cabanes

7. Conclusiones

Se ha estudiado el funcionamiento de la red de distribución de agua potable de Jávea, para un día típico de verano y otro de invierno, cuando dicha red alimenta la estación de bombeo de Adsubia-Cabanes mediante un depósito de rotura de carga y mediante aspiración directa de red. El objetivo de dicho estudio es definir las modificaciones a hacer en dicha estación de bombeo para cambiar el sistema de alimentación de uno a otro tipo, entre las que se incluyen los nuevos grupos de bombeo y el sistema de protección contra transitorios hidráulicos a instalar. Estas modificaciones permiten conseguir un ahorro del orden del 50 % tanto en la energía consumida como en el costo de facturación de esta energía.

Referencias

Basupi, I.; Kapelan, Z.; Butler, D. 2014. Reducing life-cycle carbon footprint in the (re)design of water distribution systems using water demand management interventions. *Urban Water Journal*, 11 (2), 91-107

Cobacho, R.; Arregui, F.J.; Cabrera, E.; Cabrera Jr., E. 2008. Private water storage tanks: evaluating their inefficiencies. *Water Practice & Technology* 3 (1). doi:10.2166/WPT. 2008025.

Davis, A. 2010. Hydraulic transients in transmission and distribution systems. *Urban Water Journal*, 1 (2), 157-166

Soriano, J.; Arregui, F.J.; Espert, V.B.; García-Serra, J. 2014. Hydraulic transient in residential buildings with a direct pump connection. *Urban Water Journal*. <http://dx.doi.org/10.1080/1573062X.2014.989860>