

AGUA

CAPTACIÓN, TRATAMIENTO, DISTRIBUCIÓN Y DEPURACIÓN DEL AGUA Y SU IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

AÑO XXXII - NÚM. 341 - JULIO-AGOSTO 2012 - I.S.S.N.: 211/8173

En este número:

Aislamiento de fugas en una red de distribución de agua en función de la calibración de las demandas

Página 26

Recuperación de energía en válvulas de redes de agua para consumo humano

Página 34

Eficiencia energética y rendimiento real operativo en el bombeo de las aguas residuales

Página 40

Eficacia de los eductores venturi frente a los difusores convencionales en vertidos con emisarios submarinos al medio marino

Página 48

Tecnologías aplicadas para el aprovechamiento del agua de lluvia en edificios

Página 58



Tubos y Accesorios de Fundición Dúctil

Según las Normas UNE EN 545:2010, UNE EN 545:2007 y UNE EN 598:2007



10^o aniversario
en España
y Portugal

Más de 50 distribuidores repartidos por toda la geografía

Electrosteel
ISEN 545 / ISO 2531

Oficinas centrales Electrosteel:
C/ Serrano, 93 - 28006 Madrid - Tel. 915 647 329 • Ctra. Sant Cugat a Rubí, 40 - 08174 Sant Cugat del Vallés (Barcelona) - Tel. 935 830 522

Almacenes Electrosteel:
Sector Industrial Millenium, Avinguda de l'Alumini nº 4 - 43470 La Selva del Camp (Tarragona)
Polígono Industrial de Valls, C/ Blanquers s/n - 43800 Valls (Tarragona)

www.electrosteel.es / electrosteel@electrosteel.es / www.electrosteel.com

Resumen

Las válvulas de regulación de caudal y presión de agua en las redes de distribución disipan, en su normal funcionamiento, una valiosa energía que en lo posible puede y debe ser recuperada. Se estudian varios casos reales donde se plantea recuperar esta energía, estimando la cantidad de la misma que puede aprovecharse y los distintos usos a los que puede ser aplicada posteriormente. También se valoran los casos en que dicha recuperación puede ser o no rentable en función de los diversos parámetros económicos implicados.

Palabras clave:

Agua potable, red de distribución, válvulas de regulación, energía cinética, recuperación energética.

Abstract***Energetic recovery in valves of drinking water networks***

The valves of regulation of flow and water pressure in the water distribution networks remove, in a normal operation, a valuable energy that can be (and must) recovered. This work study several cases to recover this energy, the quantity of itself that can be reused and the different applications. Moreover, the recovery rentability is studied, but depending on the diverse economic parameters implied.

Keywords:

Drinking water, distribution network, regulation valve, kinetic energy, energetic recovery.

Recuperación de energía en válvulas de redes de agua para consumo humano

Por: **Juan Sánchez Bejarano**, ingeniero técnico del Área de Ingeniería, Mantenimiento e Instrumentación de Emacsa

Empresa Municipal de Aguas de Córdoba, S.A. (Emacsa)

C/ Los Plateros, 1 - 14006 Córdoba

Tel.: 957 222 535 - www.emacsa.es

1. Introducción

El aumento de costes, la disminución de ingresos y el conocimiento de que la energía no se crea ni se destruye, simplemente se gasta o derrocha, permite que se estudie la posibilidad de recuperar la energía de todos los puntos de los que esta se pierde. También en el caso de las infraestructuras e instalaciones del sector del agua, donde se ha optimizado el funcionamiento de los grupos de bombeo o la iluminación e, incluso, en el caso de Emacsa, se ha generado energía con el agua que llega a las estaciones de tratamiento de aguas potables (ETAP), en lugar de disiparla estrellándola contra un muro.

Pese a todos esos logros, nunca hay que darse por satisfechos y se debe continuar explorando nuevas alternativas y preguntarse sobre nuevas posibilidades. En el caso de las válvulas reductoras de presión, ¿es posible conseguir energía de esta

reducción?, ¿será rentable?, ¿comporta riesgos para la instalación? Precisamente en este artículo se presenta una serie de situaciones extraídas de instalaciones reales para ver la posibilidad y conveniencia de aprovechar la energía disipada.

2. Redes de transporte de agua

Aunque no se omite, antes de realizar este estudio, la posibilidad de obtener alguna energía de la red alcantarillado, la necesidad de mantener una velocidad mínima en las redes de agua residual, la cota de recogida de los vertidos y la obligada separación física entre las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) y los núcleos urbanos hacen que sea obligado elevar el caudal de agua, sin posibilidad de aprovechamiento de presiones. En los casos en los que existe exceso de presión, la propia naturaleza del agua hace prácticamente inviable el aprovechamiento de su energía

cinética. Ante estas dificultades, se debe volver la vista a las redes de distribución de agua potable como posibles fuentes de recuperación energética.

3. Redes de distribución de agua potable

En varios puntos de las redes de agua potable se encuentran las válvulas reductoras de presión o caudal, cuya misión es precisamente disipar energía. Estos puntos son:

- Llenado de depósitos. El suministro a poblaciones separadas puede hacerse por medio de pequeñas estaciones de tratamiento o por una estación de mayor entidad, que suministra a los depósitos de las poblaciones a través de canalizaciones de gran longitud. La canalización pasará por puntos de alta presión, evitando los puntos altos en lo posible, y terminará en un depósito, llenándolo por medio de una válvula de altitud, de cierre por flotador o cualquier otra tipología adecuada. La presión residual puede ser aprovechada bien para su comercialización, bien para el aprovechamiento en la propia instalación.
- Reducción de presión a abonados. Cuando la tipología de la red de suministro tiene puntos a muy diferente nivel, la presión en los puntos bajos puede subir por encima de la regulada por la propia empresa de suministro. En estos puntos se coloca una válvula reductora, con el propósito de mantener una presión determinada en la salida de la misma con el caudal demandado en cada momento.

4. Estudio de costes

La diferente tipología de las válvulas de red obliga a un estudio pormenorizado caso por caso, sin poder establecer pautas generales. Obviamente, la instalación de una turbina con recuperación de energía con destino a su venta precisa de un sistema eléctrico complejo, seguridad ante cortes de energía y embalamiento del generador y espacio

para el mantenimiento de la instalación, aspectos que elevan los costes notablemente. Si la instalación está en una zona urbana también hay que tener en cuenta la generación de ruidos, que obliga a insonorizar la instalación, aumentando de nuevo los costes.

La formación y el tiempo dedicado del personal de mantenimiento es un coste oculto, no siempre considerado, pero que aumenta el tiempo de retorno de la inversión, tanto como el propio mantenimiento, las averías y las reposiciones. En este sentido, un punto a favor es el au-

La diferente tipología de las válvulas de red en una instalación obliga a un estudio pormenorizado de los costes según cada caso

mento esperado de vida de las válvulas reductoras, al descargarlas en su misión principal y disminuir la diferencial de presión que han de sufrir.

La instalación de una microturbina destinada a consumo propio, generalmente en corriente continua, simplifica notablemente el sistema eléctrico, reduce la necesidad de válvulas auxiliares y no aumenta significativamente el espacio necesario, haciéndola viable incluso para bajas potencias.

5. Cálculo de la potencia recuperable

La energía de una instalación hidráulica depende del caudal, de la caída de presión disponible, del rendimiento que se pueda obtener, de la densidad del fluido y del valor de

la gravedad. La fórmula que relaciona estos parámetros es:

$$P = \mu \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta h \cdot Q$$

donde:

- P = potencia generada, en W.
- μ = rendimiento conjunto de la instalación.
- ρ = densidad, en kg/m³. En el caso del agua, 1.000.
- g = aceleración de la gravedad, 9,8 m/s².
- Q = caudal de la instalación, en m³/s.
- Δh = salto de presión, en metros de columna de agua.

Armados con esta fórmula, desde Emacsa se tantea la posibilidad de extraer energía en distintos casos.

6. Casos estudiados

6.1. Llenado de un depósito desde un punto superior

Este caso se presenta cuando el depósito de alimentación de una población se llena desde la red general de suministro, de presión superior. Es el caso donde más energía se puede obtener, ya que, dentro de un orden, se eligen tanto el caudal como el horario de llenado.

Como ejemplo numérico se elige el depósito bajo de una barriada de Córdoba, El Ángel, gestionado por Emacsa. Este depósito se llena de día, con la presión de la red, y se vacía a través de un bombeo. La instalación actual, simplificando, llena el depósito por medio de una válvula de altitud, a través de una válvula de regulación, que disipa el exceso de presión regulando el caudal. La válvula de altitud está controlada por un flotador de dos niveles, abriendo y cerrando totalmente en función del nivel del depósito. Esta válvula está regulada para una histéresis de unos 50 cm (Figura 1).

Como la prioridad de todas las instalaciones hidráulicas es asegurar el servicio, en este caso, dado que el depósito se emplea para el llenado de otro superior, existe una cier-

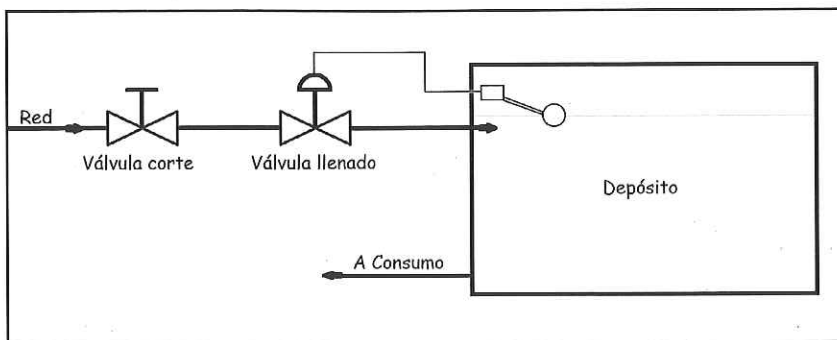


Figura 1. Instalación de El Ángel actual.

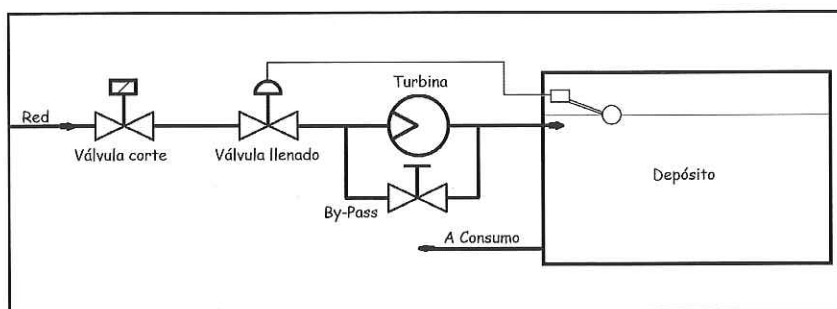


Figura 2. Instalación de El Ángel, modificada.

ta libertad para el elegir el caudal de llenado, siempre inferior al de las bombas de salida. Para optimizar la producción de energía eléctrica se sustituye la válvula de regulación por una válvula motorizada, se coloca una turbina en serie con la válvula de llenado y se acopla una válvula en *bypass* con la turbina. La simplicidad de instalación queda del todo evidenciada en la **Figura 2**. De esta manera, la válvula de corte se abrirá totalmente para eliminar la pérdida que ocasiona, mientras que la de llenado seguirá comandada por su flotador. El caudal de llenado, regulado por la propia turbina, se mantendrá en el valor actual, a fin de no afectar a la dinámica de la red de suministro.

Para estimar la potencia recuperable, deben conocerse los datos reales (**Figura 3**). Teniendo en cuenta que se conoce el volumen del depósito, la cota de solera y el área del mismo, así como el caudal de las bombas, es posible calcular el caudal de entrada en el depósito, que resulta ser de 18 m³/h. La presión diferencial en la turbina, deducidas las pérdidas ocasionadas por los ele-

mentos intercalados, es de 30 mca. El rendimiento conjunto de una instalación pequeña como esta se estima en el 60%, siendo levemente optimistas. Con estos datos:

$$P = \mu \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta h \cdot Q$$

$$P = 0,6 \cdot 1.000 \cdot 9,8 \cdot 30 \cdot \frac{18}{3.600} = 882 \text{ W}$$

El llenado del depósito, cuando se analiza un periodo de tiempo más amplio, es de dos periodos diarios de 4,6 horas, totalizando 9,2 horas diarias, 365 días anuales y una producción de energía de 2.960 kWh/año.

La instalación ya dispone de energía eléctrica, por lo que la energía generada se puede destina a disminuir el consumo de la estación. Estimando el precio en 0,17 €/kWh, la producción de esta estación supera los 500 euros anuales, pero se encuentra muy debajo de la rentabilidad necesario para acometer una instalación complicada como esta.

6.2. Regulación de presión en un suministro a la población

Siendo un caso habitual la red que cubre una área con niveles muy dispares, este segundo ejemplo analiza el suministro a la barriada de Trassierra, también en la capital cordobesa. Esta barriada se suministra por medio de un depósito, situado en la cota de solera 491,5 msnm. La presión a la entrada del conjunto de válvulas reductoras es de 11,3 kg/cm² y la salida está tarada a 5 kg/cm² (**Figura 4**).

Conocidos los datos de consumo, medidos a la salida de depósito, gra-

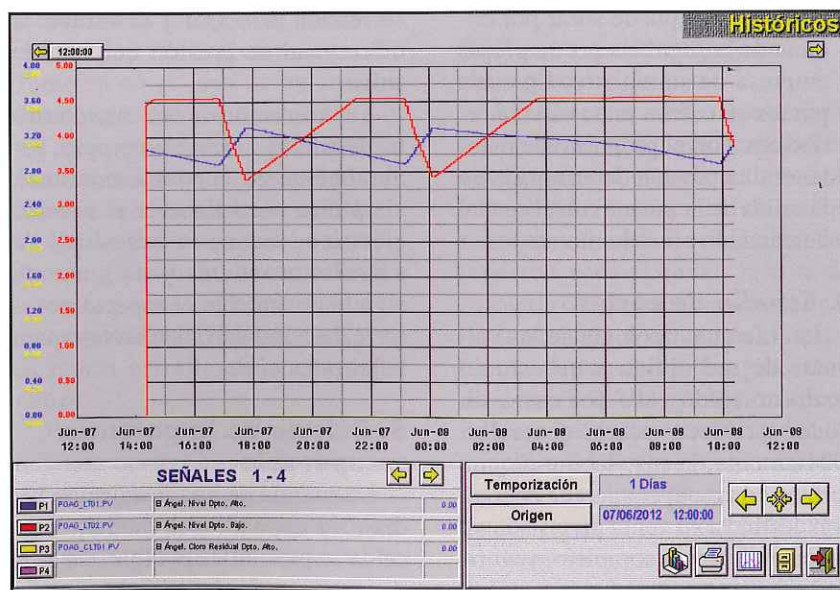


Figura 3. Evolución de los niveles del depósito El Ángel.

cias a los históricos (Figura 5), se calculan el consumo medio, mínimo y máximo. En este caso se observa un caudal mínimo de 7,5 m³/h y máximo de 58,36 m³/h. Repitiendo los cálculos, se obtiene una energía recuperable de:

$$P = \mu \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta h \cdot Q$$

$$P = 0,6 \cdot 1.000 \cdot 9,8 \cdot 63 \cdot \frac{7,5 (58,36)}{3.600} = 771,75 (6.005,24) \text{ W}$$

La energía recuperable anual sigue siendo bastante exigua, pero la dificultad, en este caso, viene representada por:

- No se puede arriesgar la seguridad del servicio. Un eventual fallo de la turbina puede aumentar la presión de salida y la colocación de la turbina en línea con las válvulas reductoras disminuirá la presión disponible.
- La variabilidad de la energía disponible obliga a mantener un sistema de control de la turbina sofisticado, con posibilidades de fallo muy elevadas.
- La necesidad de un sistema de control y la conexión a la red para la venta de la energía obligan a conectar la arqueta a la red eléctrica, lo que aumenta el coste de la instalación. La arqueta está situada fuera de la barriada, actualmente sin energía eléctrica.

No obstante, en este caso, y en el de válvulas similares, se puede colocar una microturbina en paralelo con las válvulas, dimensionada para el caudal mínimo de 5 m³/h. La producción constante de 500 W dotará de energía suficiente a los sistemas de control para enviar los datos del sistema de reducción de presión a la estación central. La colocación de una microturbina en paralelo con las válvulas principales se puede hacer regulándola al caudal mínimo y dotándola de una válvula de corte de seguridad, sin afectar a la red de agua y obteniendo una potencia suficiente para la instrumentación, con un margen holgado.

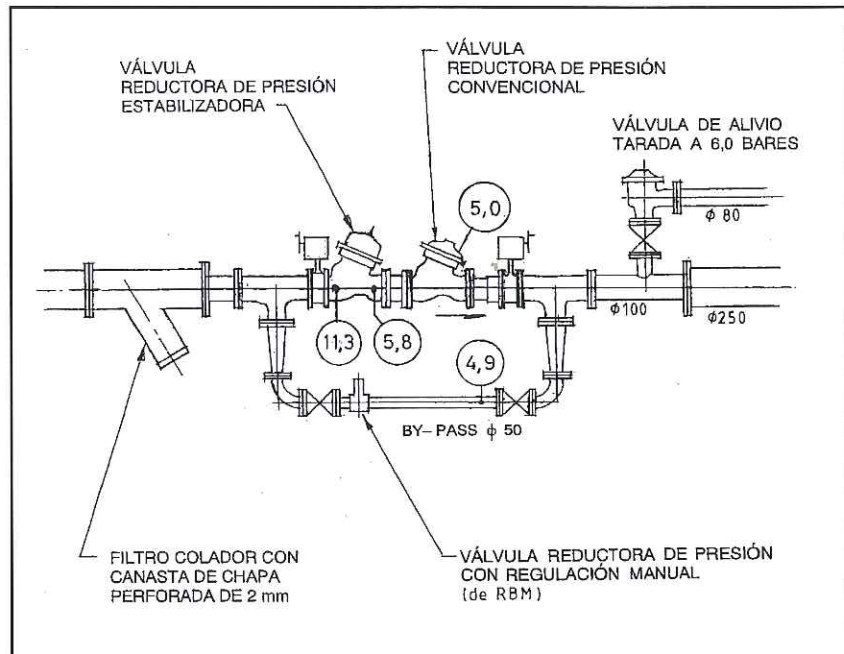


Figura 4. Sistema de reducción de presión. Depósito Trasierra.

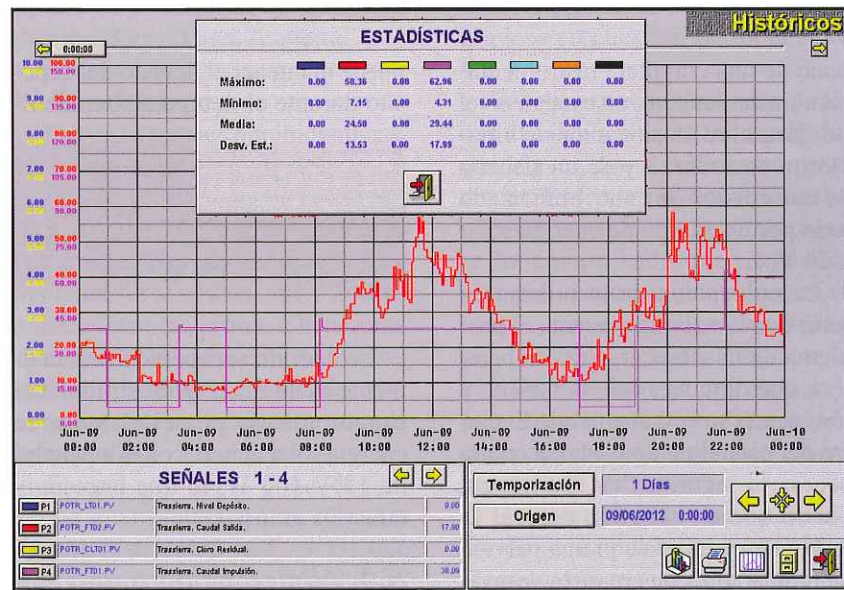


Figura 5. Caudal de depósito Trasierra.

6.3. Llenado de un depósito en línea

Para el suministro de agua a las instalaciones militares de Cerro Muriano se ha colocado un bombeo que eleva el agua desde la estación de tratamiento hasta los depósitos de las instalaciones. Este bombeo se aprovecha para el llenado de un depósito situado a una cota inferior, controlando el llenado por medio de una válvula de altitud. El caudal se

controla por medio de la regulación de una válvula de compuerta (Figura 6).

En este tercer caso se dispone de un diferencial de presión muy interesante, el tiempo de llenado es limitado (depende del tiempo de llenado del depósito de El Vacar) y el caudal es regulable, pero debe llenar el depósito en el tiempo disponible. Así mismo, la energía no se puede comercializar, pero el depósito dis-

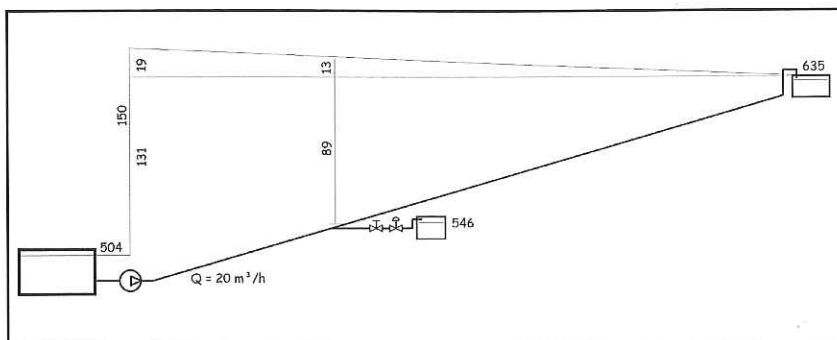


Figura 6. Red de suministro a Obejo, cotas piezométricas.

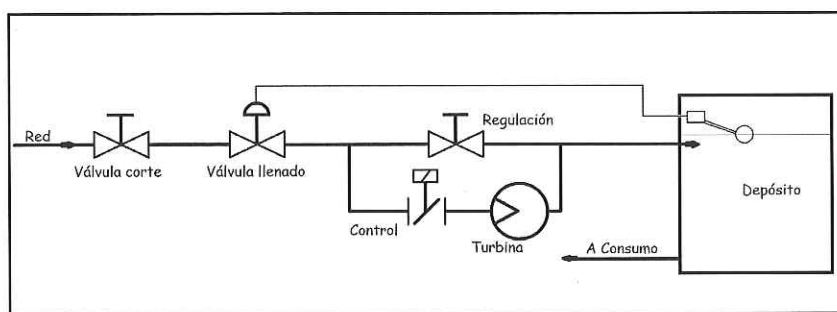


Figura 7. Red Obejo modificada.

pone de una completa instrumentación (intrusismo, nivel, caudal, nivel de cloro libre, dosificación de hipoclorito de sodio...) y de un sistema de transmisión de radio, alimentado todo por un equipo de energía solar a 24 Vcc.

La colocación de la turbina en serie con la válvula presenta el problema de la sobrecarga de las baterías, que desconectaría la turbina y provocaría su embalamiento. El cierre del caudal de agua choca con la necesaria seguridad de suministro, por lo que es obligado colocar la turbina en paralelo con una válvula de regulación, que creará la necesaria pérdida, aliviará el trabajo de la válvula de llenado y permitirá que se cierre el flujo a la turbina cuando la batería alcance su llenado completo (Figura 7).

La potencia de la turbina se puede calcular gracias a la fórmula repetida. El caudal de llenado del depósito es de 10 m³/h y el tiempo es variable, desde 1,5 horas hasta las 2,5 h de los fines de semana. Si se regula la válvula de *bypass* de forma que la turbina trabaje con 4 m³/h, se

puede mantener el llenado del depósito durante el tiempo de bombeo:

$$P = \mu \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta h \cdot Q$$

$$P = 0,6 \cdot 1.000 \cdot 9,8 \cdot 102 \cdot \frac{4}{3.600} = 666 \text{ W}$$

La energía recuperada semanalmente es de 8.325 W/h, similar a la proporcionada por el sistema de energía solar actual, con dos paneles de 12 V 100 W, lo que hace muy atractiva la instalación.

6.4. Alimentación a una población con depósito desde depósito elevado

La alimentación a una barriada alejada de la ETAP se ha proyectado por medio de un bombeo a un depósito intermedio, desde el que se conecta una canalización hasta la red de la barriada. Desde esta red se llena el depósito actual de la barriada, que funcionará como depósito de compensación. En este caso se ha de tener en cuenta que aquí se desperdicia una energía muy valiosa,

por lo que es necesario recopilar primero los datos de la instalación:

- Depósito intermedio: situado en la cota 627,5, la capacidad prevista es de 7.000 m³ y se llena por medio de un bombeo. La optimización de este bombeo es motivo y preocupación de otro departamento, por lo que no se entra en detalle, suponiéndolo una fuente inagotable de agua.
- Depósito de la barriada: situado en la parte alta de la barriada, la cota de solera es la 549,16 msnm, la altura de lámina es de 3,5 m y tiene 500 m³ de capacidad total. Se deduce, pues, 1,428 m³/cm. Por motivos de seguridad de suministro, no se puede bajar de 2 m de lámina.
- Consumo diario de la barriada: presenta una marcada estacionalidad, variando el consumo entre 35 y 200 m³/h, aproximadamente.

El depósito de la barriada posibilita jugar con el horario, el caudal, etc., pero siempre con la salvaguarda de la seguridad de suministro. En la Figura 8 se observa que, para un caudal medio de 43,78 m³/h, el depósito se rellena durante 13 horas diarias, a 80 m³/h, aproximadamente. Este caudal es constante, variando las horas en verano/invierno.

Armados con la fórmula de siempre, se puede calcular la potencia obtenible en esta instalación:

$$P = \mu \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta h \cdot Q$$

$$P = 0,6 \cdot 1.000 \cdot 9,8 \cdot (627,5 - 549) \cdot \frac{80}{3.600} = 10.257,3 \text{ W}$$

Aquí sí se ha obtenido una potencia respetable. En el cálculo del caudal no se han considerado otros consumos de la misma barriada, que podrían duplicarlo, aunque a distintas presiones. La energía calculada puede elevarse a más de 50 MW anuales, y la inversión es relativamente pequeña, convirtiendo esta instalación en una candidata excelente a un examen más profundo.

7. Comercialización de la energía

Emacsa ya ha montado y probado un generador, que produce 10 kW, no lo bastante para competir con las nucleares, pero sí lo suficiente para no tirarlo. ¿Cómo trata la ley esta generación?

Hasta el 8 de diciembre de 2011 la producción eléctrica se debía vender obligatoriamente a la compañía eléctrica, para después comprársela para el consumo. Esto obliga a que el consumidor pague los costes fijos de toda la potencia que consume, aunque la producción alcance un porcentaje importante de sus necesidades. Obviamente, quedan aparte las instalaciones sin conexión a la red, como casas de campo, repetidores, etc.

A partir de esa fecha, el Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia, el que regula el autoconsumo. No obstante, tiene tres limitaciones:

- La potencia máxima de la instalación no puede ser superior a la contratada por el cliente como consumidor ni, en cualquier caso, superar los 100 kW.
- Para que sea autoconsumo, se exige que la conexión se realice centro de la red interior del consumidor.
- Se exige que el titular de la instalación de generación sea el mismo que el consumidor.

La idea consiste en utilizar la red eléctrica como una especie de hucha, donde se vierte la energía sobrante de la instalación para recuperarla después 'sin coste', es decir, sin que se tarife por ella, pero sí por los gastos fijos, alquileres, peaje de la red, etc. Este sistema permite recuperar la energía generada durante todo el día y utilizarla solo en las horas en las que se necesita. El límite temporal es de un año y solo se paga por el peaje (uso de las redes de la Red Eléctrica Española, REE) si se consume en un mes distinto del que se produce. La energía no recuperada

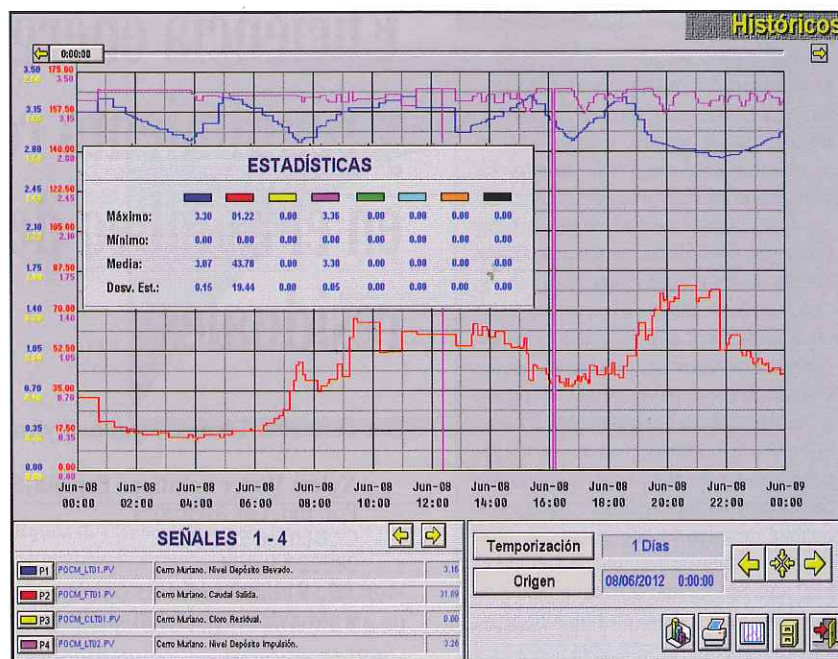


Figura 8. Evolución del depósito Cerro Muriano.

pasa a disposición de la compañía distribuidora. O sea, se pierde.

8. Conclusiones

Las instalaciones minihidráulicas, en la legislación española, son las instalaciones cuya potencia instalada no supere los 10 MW, y se tratan como energías renovables, con subvenciones a la instalación y ayudas a la explotación, primas a la producción, etc. Estas subvenciones varían entre las distintas comunidades, por lo que es necesario consultar en cada una de ellas.

En este artículo se pretende presentar cuatro situaciones, tomadas de una instalación real, en las que los resultados han sido muy distintos, pero clarificadores.

El estudio de rentabilidad de la instalación ha de tener en cuenta temas como el precio de la energía, la subvención a la producción de la misma, la proyección futura de esta subvención, las ayudas a la instalación, el costo de instalarla, el impacto medioambiental que produzca (espacio ocupado, obras, ruidos...), el coste del mantenimiento, y algún otro tema que queda en el tintero. Temas, casi todos, que varían de un año a otro y que pueden convertir

la instalación más rentable en otra gravosa en cuestión de un decreto ley.

Todo esto obliga a ser cuidadosos con el cálculo, ya que los resultados pueden ser, como mínimo, sorprendentes. En los resultados de Emacsa, necesariamente solo aproximados, se ha comprobado que es posible emplear la energía obtenida para su venta o como suministro para la propia instalación, para aumentar la fiabilidad de las comunicaciones o para instalar tomas de datos donde antes no era posible por falta de conexión a la red.

Obviamente, hay que estar muy atentos a la publicación del Real Decreto que regule la tarifa de balance neto para poder adecuar las instalaciones a las exigencias legislativas.

9. Bibliografía

- [1] Emacsa. Datos propios de explotación de la Empresa Municipal de Aguas de Córdoba.
- [2] Traxco. Miniturbinas hidráulicas, www.traxco.es.
- [3] BOE, www.boe.es/boe/dias/2011/12/08/pdfs/BOE-A-2011-19242.pdf.
- [4] Suelo Solar, www.suelosolar.es.