



Aprovechamiento de la energía de la red mediante turbinación. Experiencia en Global Omnium

La existencia de presiones muy superiores a las requeridas tanto en los sistemas de transporte como en las redes de distribución es frecuente. En la actualidad, la evolución de la tecnología posibilita el aprovechamiento de esta energía 'sobrante'. Global Omnium está apostando por la instalación de microturbinas hidráulicas en sus redes de abastecimiento de agua potable para hacer un uso eficiente y novedoso de la energía, destacando el aprovechamiento para autoconsumo de un bombeo de las energías que eran disipadas en una válvula de regulación de la red del Área Metropolitana de Valencia, o la alimentación de una estación de recarga de dispositivos electrónicos y servicio wifi en la playa de Altafulla. No obstante, el principal inconveniente del uso de estos equipos es el marco legal vigente, el cual dificulta (no favorece) la legalización de estos aprovechamientos.

Palabras clave

Energía, agua, eficiencia, generación eléctrica, bombas como turbinas.

USE OF THE POWER OF THE NETWORK BY MEANS OF TURBINES. EXPERIENCE IN GLOBAL OMNIUM

The existence of pressures far superior to those required in both transport systems and distribution networks is frequent. Nowadays, the evolution of technology makes it possible to use this 'surplus' energy. Global Omnium is opting for the installation of hydraulic microturbines in its potable water supply networks to make an efficient and novel use of energy, highlighting the use for self consumption in a pumping station of the energies dissipated in a regulating valve of the network of Valencia's metropolitan area, or the feeding of a station of recharge of electronic devices and WiFi service on the beach of Altafulla. However, the main drawback of the use of these equipment is the current legal framework, which makes it difficult (does not favor) the legalization of these exploitations.

Keywords

Energy, water, efficiency, power generation, pumps as turbines.

Manuel Ayza Prats

director de Operaciones de Compañía General d'Aigües de Catalunya

David García Casas

director de Zona de Compañía General d'Aigües de Catalunya

Felipe Sanz Tárrega

director de Operaciones de Agua Potable de Global Omnium

Pilar Conejos Fuertes

responsable de Planificación, Regulación y Control Agua en Alta de Empresa Mixta Metropolitana (Emimet)

Marta Hervás Carot

técnica de Empresa Mixta Metropolitana (Emimet)

Jaume Lledó

CEO y cofundador de Tecnoturbines

Enrique Ruiz

director de Tecnologías de Tecnoturbines



1. INTRODUCCIÓN

Las energías motrices habituales en los sistemas de distribución de agua potable (SDAP) son, en el mejor de los casos, en forma de energía potencial (topografía del terreno) y las energías mecánicas de los bombeos adquiridas, por lo general, de las redes eléctricas.

Está de plena actualidad la necesidad de conocer la eficiencia de un sistema o de una gestión. Para los SDAP está muy extendido, desde hace tiempo, ratios tales como el rendimiento hidráulico de una red, que mide en % el agua registrada respecto a la inyectada en un sistema. Los valores de kWh/m³ también cuantifican el consumo de energía respecto al agua gestionada. Por supuesto, se manejan habitualmente los valores más técnicos de rendimientos de las bombas y motores.

Sin embargo, en el Grupo Global Omnium se entiende que estos ratios no eran suficientes, pues quedan aspectos de la eficiencia de un SDAP (características de sus configuraciones, topografía, condiciones de operación, etc.) para los que no hay una métrica específica para cuantificar su desempeño. Por ello, la compañía de aguas trabaja desde hace varios años con el grupo de investigación ITA (anteriormente Instituto Tecnológico del Agua) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) para la propuesta de una métrica que permita evaluar la eficiencia global de un SDAP. Resultado de estos trabajos es la herramienta EAGLE (diagnóstico rápido) y un protocolo de radical enfoque (a la raíz de los fenómenos físicos) orientado a realizar auditorías integrales del uso de la energía.

Si para entrar en mayor detalle sobre la protección de las energías 'topográficas' excesivas, se ha venido

recurriendo a dispositivos de reducción de la presión, como arquetas de roturas de carga, válvulas reductoras de presión u otros dispositivos para el control del caudal/presión, en los últimos tiempos se presentan, además como opción muy interesante, unos equipos novedosos en el mercado conocidos generalmente como PAT (*pumps as turbines*), que permiten el aprovechamiento de esa energía 'sobrante' en energía eléctrica.

Este artículo se centra en el aprovechamiento de esas energías para otros fines, que tiene en el marco legal vigente un desincentivo por la complejidad en la legalización de esos aprovechamientos. En relación con ello, este artículo en ningún momento se refiere a las clásicas instalaciones dedicadas a la generación hidroeléctrica mediante turbinas hidráulicas, de varios centenares de kW y MW eléctricos de potencial de generación.

2. POTENCIAL DE GENERACIÓN: FUNDAMENTOS BÁSICOS

Las turbinas hidráulicas utilizan la energía potencial que tiene una masa de agua en movimiento entre dos puntos de diferente altura piezométrica (la suma de la energía potencial y de la presión manométrica), que se denomina 'salto aprovechable'.

La transformación de esa energía potencial y de presión en energía mecánica se realiza a través de tur-

binas, por medio de la masa de agua en movimiento circulando por su interior. A su vez, esa energía mecánica en el eje de la turbina, acoplada a un generador eléctrico, se transforma en energía eléctrica.

La potencia que se puede obtener de una turbina hidráulica está expresada por la siguiente ecuación:

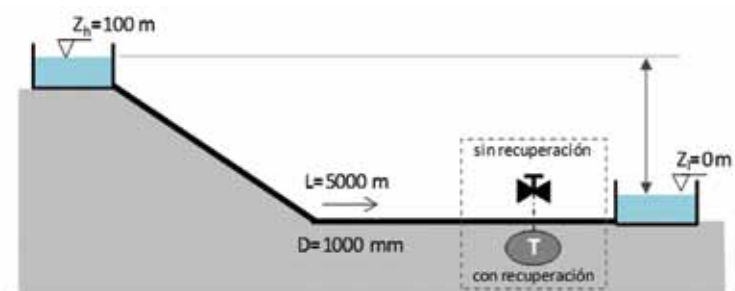
$$P = \eta \cdot g \cdot Q \cdot H$$

donde:

- P = potencia expresada en kW.
- η = rendimiento global del sistema (incluye pérdidas mecánicas y eléctricas de generación).
- g = aceleración de gravedad expresada en m/s² (igual a 9,81 m/s²).
- Q = caudal de agua expresada en m³/s.
- H = salto o diferencia de alturas piezométricas (presión + cota) expresado en mca.

En los dos esquemas siguientes (**Figura 1** y **Figura 2**) se presentan algunos casos que no merecen mayores comentarios y reflejan lo que se pretende expresar. La **Figura 1** corresponde a un salto de 100 m, con una válvula de regulación totalmente abierta. Se tendría un caudal de 4,43 m³/s, puesto que toda la energía potencial se transforma en pérdida de carga en la tubería ($j = 20$ m/km).

FIGURA 1. Ejemplo de salto hidráulico.



Si la instalación ejemplo tuviera que trasegar $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$, con ese DN 1.000 mm supondría un flujo de velocidad $v = 1,27 \text{ m/s}$ y unas pérdidas por fricción unitarias de $j = 1,05 \text{ mca/km}$. En tal caso, la pérdida por fricción de los 5 km de tubería equivale a una pérdida total de $h_f = 1,05 \times 5 = 5,25 \text{ mca}$, con lo que la válvula de regulación debería disipar: $100 - 5,25 = 94,75 \text{ mca}$.

Esa energía se disipa en la válvula en fricción: $9,81 \cdot 1 \cdot 94,75 = 929,4 \text{ kW}$, que transformándose en calor: $799.140,17 \text{ kCalorías/h}$. En caso de utilizar una PAT, en lugar de la válvula, se podría generar (con un rendimiento aceptable del 65%):

$$9,81 \cdot 1 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 94,75 \text{ mca} \cdot 0,65 = 604,17 \text{ kW eléctricos}$$

En el segundo caso real (**Figura 2**), hay instalada una VRP DN 300 mm en la tubería principal DN 500 mm, para generar una pérdida localizada de 50 mca para un caudal de diseño de $560 \text{ m}^3/\text{h}$.

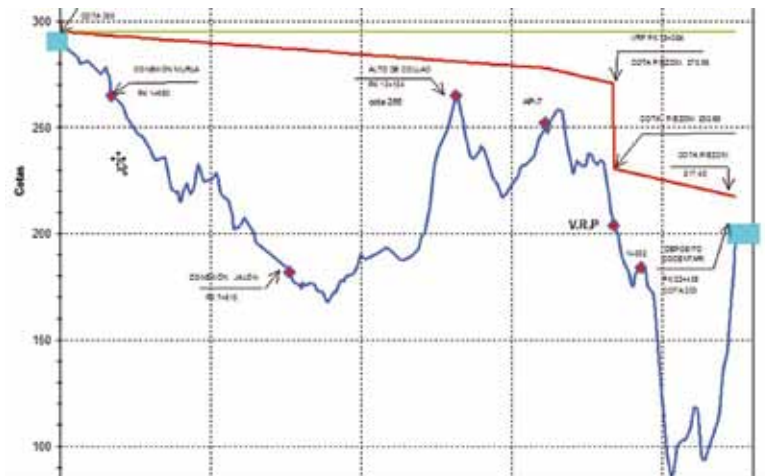
De plantear un aprovechamiento de esa energía residual, que en la actualidad se disipa en forma de calor en la VRP, el potencial de generación hidroeléctrica (con un rendimiento turbina-generator del 60% conservador), sería de:

$$9,81 \cdot (560 \text{ m}^3/\text{h} / 3.600 \text{ s/h}) \cdot 50 \text{ mca} \cdot 60\% = 45,78 \text{ kW}$$

que para una utilización de transporte de agua de 5.926 h/año supone unos 271.292 kWh/año. Por evidenciar un importe económico, estimando un precio medio de $0,11 \text{ €/kWh}$, supondría disponer al menos de energía por valor de 29.842 €/año.

Resultados, en ambos ejemplos, que se justifican por sí solos sin más comentarios.

FIGURA 2. Perfil con salto hidráulico aprovechable.



3. ESTADO DEL ARTE DE LA TECNOLOGÍA PAT

3.1. UTILIZACIÓN DE BOMBAS COMO TURBINAS (PAT)

El uso de bombas como turbinas (PAT) es una tecnología ampliamente utilizada desde hace décadas para producción de energía eléctrica a pequeña escala. Básicamente consiste en invertir la dirección del fluido haciendo que la bomba gire en dirección opuesta convirtiéndose de esta forma en una turbina (**Figura 3**).

La principal diferencia entre una PAT y una turbina convencional radica en que las PAT carecen de un dispositivo de control hidráulico (regulador con álabes móviles). La carencia de este elemento de regulación (que explica el bajo costo de

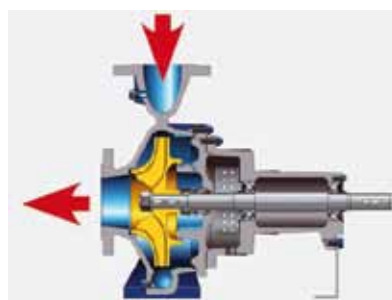
las PAT) supone que tradicionalmente estos sistemas solo se han podido aplicar en instalaciones con caudales y presiones constantes, funcionando a velocidad fija y limitando de forma significativa su campo de aplicación.

El desarrollo de la electrónica de potencia en los últimos años, como tecnología madura y de costes moderados, ha permitido el funcionamiento de las PAT a velocidad variable, ampliando significativamente sus rangos de operación y haciendo posible su utilización en instalaciones con condiciones de presión y caudal variables, como son las redes de abastecimiento de agua potable.

Las principales ventajas del uso de bombas como turbinas en instalaciones de agua potable son:

- Equipos muy económicos gracias al uso de bombas convencionales producidas en serie, lo cual repercute en una alta rentabilidad de las instalaciones.
- Eficiencias hidráulicas similares a las obtenidas trabajando como bomba.
- Bajo coste de instalación y operación.
- No se requiere de formación específica del personal encargado del

FIGURA 3. Bomba con turbina.





mantenimiento, ya que es exactamente igual al de una bomba convencional.

La selección de la PAT óptima para cada instalación es un aspecto estratégico debido a que los pequeños fabricantes de bombas se han preocupado poco del funcionamiento de sus bombas como turbinas y las grandes compañías multinacionales, que sí cuentan con este conocimiento, lo consideran confidencial. Por lo tanto, a la hora de diseñar un sistema de recuperación de energía mediante PAT, la mejor opción es contactar con una empresa especializada.

3.2. GENERADORES ASÍNCRONOS

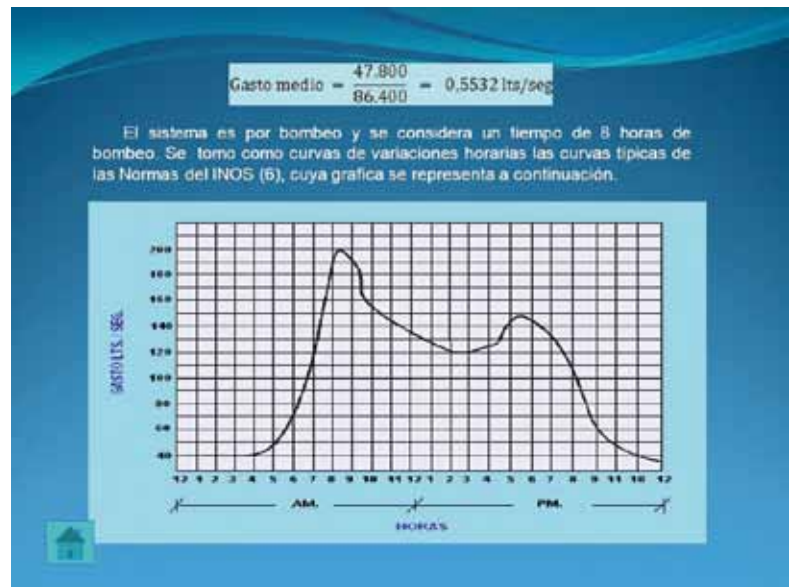
Los motores asíncronos (conocidos como motores de rotor en jaula de ardilla) son los equipos más utilizados en la industria. Se trata de equipos de bajo coste, de elevada fiabilidad y de un alto grado de estandarización, existiendo un gran número de fabricantes que cuentan con una amplia gama de velocidades y potencias para prácticamente cualquier aplicación, entre ellas el accionamiento de bombas (Figura 4).

En la actualidad, prácticamente cualquier bomba existente en el mercado va equipada con un motor asíncrono. Estos motores, como muchas otras máquinas eléctricas, tienen la ventaja de que son reversibles y, por tanto, pueden funcionar como

FIGURA 4. Motor eléctrico asíncrono.



FIGURA 5. Curva tipo de modulación de consumo de agua.



generador. Esta circunstancia hace que su utilización como generadores acoplados a una PAT sea totalmente viable y fiable. No obstante, a la hora de seleccionar el generador se ha de tener en cuenta que una PAT genera una potencia eléctrica superior a la que consume trabajando como bomba, lo cual hace que generalmente no sea posible utilizar el motor original de la bomba, siendo necesario el sobredimensionado.

3.3. CONTROL ELECTRÓNICO DE LA ENERGÍA GENERADA

Gracias al control de la velocidad (mediante equipos electrónicos de potencia: PLC, convertidores, rectificadores, variadores de potencia, algoritmos de control, etc.), las PAT pueden operar en conducciones de agua que presenten variabilidad de caudales y de presiones, tal y como sucede en las redes de distribución de agua potable, donde la demanda responde a un determinado patrón en función de las necesidades de los usuarios (Figura 5).

Bajo estas circunstancias, existen sistemas electrónicos que son ca-

paces de variar la velocidad de la PAT en tiempo real para adaptarla a las condiciones de caudal y presión existentes en la conducción, permitiendo así una generación continua e ininterrumpida que aumenta la capacidad de generación total de estas microcentrales.

Este es el caso del sistema de control patentado por el fabricante de turbinas Tecnoturbinas, que dispone de una amplia gama de equipos para la recuperación energética en redes de abastecimiento (Figura 6).

FIGURA 6. Bomba como turbina, con cuadro eléctrico de control y regulación.



4. MARCO LEGAL DE LA MICROHIDRÁULICA

El marco legislativo que regula este tipo de instalaciones lo establecen las normas europeas y las disposiciones propias de España y, en su caso, las de las comunidades autónomas.

A nivel europeo, además de las diversas directrices técnicas de fabricación de equipos que contemplan criterios de *ecodesign* y eficiencia, se estableció un plan-horizonte 2020 para reducir el consumo de energía primaria en un 20% respecto a un patrón base. Fomentar la eficiencia es una forma rentable de reducir el consumo de energía sin reducir el nivel de actividad económica. Esta reducción de consumo sirve para tratar los desafíos como el cambio climático, la seguridad energética y la competitividad.

A pesar de que España oficialmente está alineada con las políticas energéticas europeas y cuenta con un consolidado sistema de generación hidroeléctrica y un sector tecnológicamente maduro en esta área, la presencia de microcentrales hidráulicas (menos de 100 kW) no se encuentra extendida, por el bajo estímulo y la complejidad de los trámites de la reglamentación y, por supuesto, por los escasos incentivos asociados a promover su uso generalizado. A este gris escenario contribuyen, además, el desconocimiento de los gestores de los potenciales de generación en los sistemas hidráulicos y los continuos cambios legislativos en material de energías renovables, que alteran los análisis de viabilidad económica de las inversiones.

Las principales normas que regulan el sector de la microhidráulica son:

- Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, donde se determina el régi-

men retributivo de las instalaciones de energía renovable.

- Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, donde se regula la conexión a red de instalaciones generadoras de baja potencia (hasta 100 kW). En ella se simplifican los requisitos para las instalaciones de pequeña potencia que pretendan conectarse en puntos donde exista ya un suministro.

- Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones de autoconsumo energético.

» Las aplicaciones más frecuentes de recuperación energética mediante microturbinas en redes de agua serían los autoconsumos

Con estos escenarios, las aplicaciones más frecuentes de recuperación energética mediante microturbinas serían los autoconsumos. Pueden tener rentabilidades elevadas, especialmente si tienen potenciales aprovechables de caudales y saltos netos con los que 'turbinar' de forma continua 24 horas/día.

La principal desmotivación de los promotores de este tipo de instalaciones es el farragoso y poco claro trámite a seguir para la legalización. Sin descuidar los dilatados tiempos de legalización, que pueden demorarse muchos meses según la comunidad autónoma. En cualquier caso, es recomendable asesorarse con empresas especializadas en legalizaciones eléctricas y gestiones ante las compañías eléctricas.

5. CASOS PRÁCTICOS DE LA UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

5.1. CASO A: GENERACIÓN PARA USOS CÍVICOS EN ALTAFULLA

Altafulla es un municipio de la Costa Dorada ubicado a escasos kilómetros de la ciudad de Tarragona. Como es habitual en muchos municipios costeros, el servicio tiene dos zonas bien diferenciadas: la parte alta o núcleo, que es donde están ubicados los depósitos de cabecera o distribución; y la zona de playa o costera, que está ubicada a cota 0. Este desnivel, normalmente muy pronunciado, genera una diferencia de altura piezométrica considerable que, en definitiva, genera una presión elevada en la zona costera que se necesita reducir mediante la implantación de válvulas reguladoras de presión.

En el caso concreto de Altafulla, aprovechando la renovación de un tramo de la red de la playa y la reubicación de una válvula reguladora, se decide instalar una turbina que aproveche la energía hidráulica sobrante y genere energía eléctrica. Los cálculos efectuados indicaban que se podría generar unos 100-150 W. Con ellos finalmente se plantea alimentar un dispositivo de carga de móviles, alimentación de dispositivos de información municipal, así como dotar de conexión wifi en la propia playa (**Figura 7**).

Tras más de un año en funcionamiento se constata que el sistema es un éxito, funciona perfectamente y permite alimentar a más dispositivos, con lo que se plantea próximamente la instalación de paneles informativos o monitores con información pública de interés.

Altafulla es un ejemplo donde se aprovecha la energía generada para



FIGURA 7. Esquemas, fotografías y datos del proyecto de microturbina en Altafulla (Tarragona).



FIGURA 8. Esquema del uso la energía de una turbina para alumbrado público.



los servicios descritos, pero obviamente son posibles otros usos novedosos. Como ejemplo, en Sant Pere de Vilamajor, un municipio ubicado en el corazón del Montseny (reserva de biosfera), donde también existen grandes saltos aprovechables, se está estudiando la posibilidad de aprovechar la energía generada para alimentar el alumbrado de una urbanización mediante tecnología led (Figura 8) o bien la instalación de una estación de carga de vehículos eléctricos. En otros municipios se plantea la carga de bicicletas eléctricas, la instalación de instrumentación para servicios municipales, etc.

Como se puede apreciar, las aplicaciones sociales están abiertas y se adaptan a las características del 'salto de presión' aprovechable, que de otra forma se disipa en forma de calor.

5.2. CASO B: AUTOCONSUMO DIRECTO PARA UNA ESTACIÓN DE BOMBEO

Las redes de abastecimiento de agua potable cuentan con diversos elementos de regulación, como válvulas, bombas y depósitos, para mantener la presión en todos los puntos lo más estable posible.

En el caso concreto de las válvulas reductoras de presión, mediante el estrangulamiento de la sección de paso del fluido se consigue reducir la presión del mismo, una operación en la que se disipa gran cantidad de energía. La red metropolitana de abastecimiento de Valencia cuenta con varias válvulas reguladoras en las que se producen pérdidas de carga importantes. La válvula de entrada al depósito denominado La Coma resulta un emplazamiento idóneo para la instalación de un microturbina hidráulica, pues presenta múltiples ventajas:

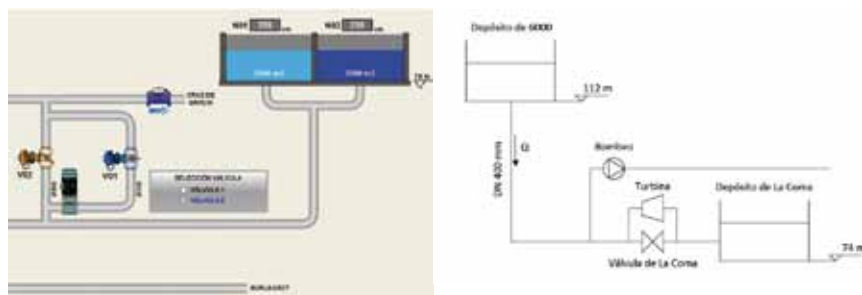
FIGURA 9. Microturbina instalada en La Coma.



- Descarga del caudal turbinado a un nivel estable.
- Capacidad de regulación del depósito, con lo que se ha adaptado el régimen de llenado del depósito para maximizar la producción de energía eléctrica.
- Existencia de un bombeo en la misma instalación, capaz de autoconsumir la totalidad de la energía producida.

Por tanto, en la entrada del depósito de La Coma se ha instalado una microturbina hidráulica que produce electricidad que se aprovecha en la modalidad de autoconsumo de inyección cero a la red, consumiéndose en la propia instalación la totalidad de la energía producida, ya que existe un bombeo para alimentar una urbanización situada a una cota más elevada (**Figuras 9 y 10**).

FIGURA 10. Pantalla de control remoto de la turbina (imagen de la izquierda) y esquema de la instalación (imagen de la derecha).



La entrada al depósito de La Coma tiene un potencial disponible de $H = 30$ mca y $Q_{\text{medio diario}} = 25$ L/s. Puesto que la turbinación está supeditada al régimen de llenado del depósito, dicho régimen se ha adaptado con el fin de maximizar el aprovechamiento de la energía generada, de modo que se tiene un régimen de turbinación de 14 h distribuidas en los periodos punta y llano de la tarifa eléctrica, generando unos 9 kW, lo que supone una energía diaria generada de 126 kW/h (**Figura 11**).

5.3. CASO C: USO DE PICOTURBINAS PARA LA INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE LA RED

El uso de picoturbinas resulta especialmente interesante para la alimentación de pequeños equipos de

instrumentación sin necesidad de acometida eléctrica.

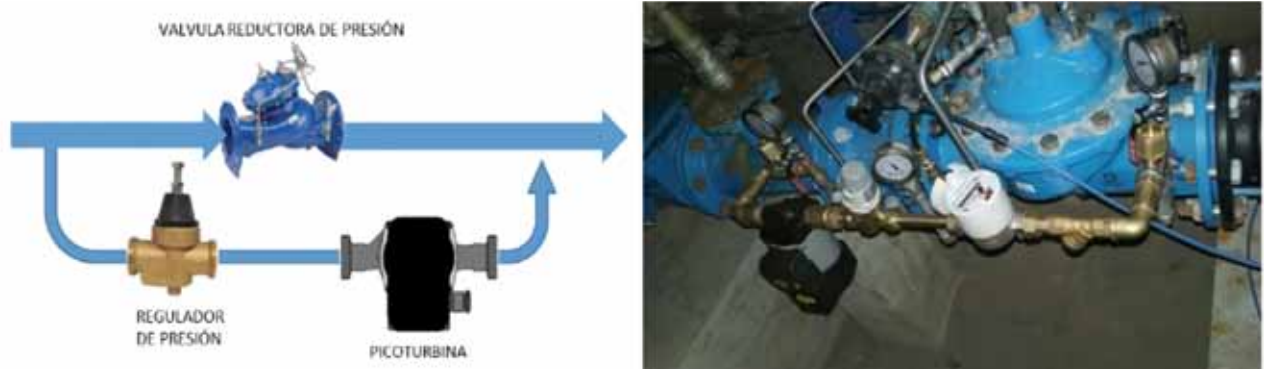
En la actualidad, se tiene instalada una picoturbina en una derivación de entrega de agua desde el Sistema Metropolitano en Alta de Valencia. Dicha picoturbina se ha dispuesto en paralelo a una válvula reductora de presión, donde se aprovecha la pérdida de carga disponible en dicho punto para generar energía eléctrica y alimentar pequeños equipos. En concreto, se alimenta el controlador de la válvula reguladora y se transmiten los datos (presión y caudal suministrados) cada 15 minutos. De este modo, se ha monitorizado dicho punto sin necesidad de acometida eléctrica en el mismo. La picoturbina aprovecha un salto de presión disponible de 25 mca y un caudal de 1,2 L/s para generar una potencia de 25 W (**Figura 12**).

FIGURA 11. Energía producida por la microturbina de La Coma.





FIGURA 12. Esquema de la instalación de la picoturbina en el sistema metropolitano en alta de Valencia (imagen de la izquierda) y foto de la picoturbina instalada (imagen de la derecha).



6. CONCLUSIONES

Las microturbinas hidráulicas basadas en bombas usadas como turbinas, en combinación con sistemas de velocidad variable, son equipos eficientes y rentables a la hora de recuperar energía en las redes de agua. En este artículo se han presentado algunos casos de éxito.

La legislación vigente permite, no sin ciertas trabas y dificultades, utilizar estos sistemas para exportar energía a la red o bien para autoconsumo y en algunos casos singulares pueden presentar rentabilidades interesantes. Incluso algunas aplicaciones pueden posibilitar otros usos novedosos de interés social.

Bibliografía

- [1] RD 413/2014, 6 de junio.
- [2] RD 1699/2011, 18 de noviembre.
- [3] RD 900/2015, 9 de octubre.
- [4] Página web <http://tecnoturbinas.com>.
- [5] Hervás Carot, M. (2015). Estudio del aprovechamiento energético mediante turbinación del salto de presiones generado en la regulación de un punto de la red metropolitana de abastecimiento en alta a Valencia. Trabajo Final de Grado. Universidad Politécnica de Valencia.
- [6] Ayza Prats, M.; García Casas, D.; Sanz Tárrega, F.; Conejos Fuertes, P.; Hervás Carot, M.; Lledó, J.; Ruiz, E. (2017). Aprovechamiento de la energía de la red mediante turbinación. Experiencia en Global Omnium-Grupo Aguas de Valencia. XXXIV Jornadas AEAS Tarragona 2017.

DESCUBRA MÁS ARTÍCULOS
TÉCNICOS, REPORTAJES E
INFORMACIONES TÉCNICAS
SOBRE EL SECTOR DEL
AGUA EN EL PORTAL WEB:
WWW.TECNOAQUA.ES