

# Optimización de la demanda de energía eléctrica en edificios

La inyección de energía eléctrica renovable en edificios singulares controlada por técnicas novedosas permitiría reducir las puntas de consumo eléctrico y optimizar la demanda

JUAN CARLOS SÁEN-DÍEZ MURO, JUAN MANUEL BLANCO BARRERO Y EMILIO JIMÉNEZ TOFE

Lamentablemente se empieza a comprobar de forma práctica que los sistemas eléctricos no han evolucionado en la misma proporción que lo ha hecho la curva de la demanda. Además con el empleo masivo de equipos climatizados se han desplazado los máximos de consumo a periodos estivales, lo cual agrava el problema debido a que las altas temperaturas ambiente provocan una reducción en la generación, transporte y distribución de energía eléctrica. Los autores además han comprobado con años de estudio que no se trata de una mera deficiencia de generación de energía eléctrica frente al consumo sino que sobre todo las redes de distribución no son capaces de soportar puntas históricas de consumo veraniegas provocando la caída en cadena de los centros de transformación y subestaciones. Cabe decir que la ampliación de la infraestructura de distribución es extremadamente problemática sobre todo en áreas urbanas debido a los altos costes (normalmente son subterráneas), entorpecimiento de tráfico automovilístico (calzadas) y de peatones (aceras), mala imagen a la ciudadanía por el sentimiento de estar permanentemente en obras, etc.

Es por ello que una medida muy interesante para paliar en parte el problema de la imposibilidad de suministro eléctrico a los usuarios puede consistir en optimizar la curva de la demanda de energía eléctrica. Para ello se propone actuar en el propio edificio. En principio cuanto más importante sea el edificio, es decir en un edificio singular, mejor se podrán implementar las técnicas descritas en este artículo. Para la optimización de los diferentes sistemas que forman parte de las instalaciones y equipamiento del edificio, cabe citar:

- Estrategias de DSM (siglas de *Demand Side Management*) en el sector terciario e industrial.
- Cortes on/off o regulación de receptores.
- Desplazamiento en el tiempo, reducción de la punta.
- Inyección de energía eléctrica renovable.
- Arquitectura Bioclimática.
- Estrategias de ahorro de energía.

Estudiando estas ideas, surge como planteamiento de partida, trabajar en la línea de inyección de energía eléctrica

renovable para estrategias de DSM. Dentro de las energías renovables empleadas, se ha optado por la minihidroeléctrica, dejando para fases posteriores y según las conclusiones obtenidas la implementación del resto de energías. Con ello, los objetivos que se pretenden conseguir son: 1) Estudio, análisis y diseño de las técnicas de optimización para minicentrales hidroeléctricas para estrategias de DSM en el sector terciario e industrial. 2) Desarrollo de una herramienta *software* como interfase gráfica de usuario en PC mediante paquete SCADA. Implementación de los algoritmos *software* de optimización en la misma.

## Optimización de generación de energía minihidráulica: $Q_{Optimo}$

Las micro y mini centrales hidroeléctricas analizadas en el mercado maximizan su producción energética regulando por altura máxima en la cámara de carga. Implementan algoritmos más o menos complejos dependiendo de las características de la misma. No obstante la ubicación de las mismas se escoge mediante un estudio de viabilidad que arroje cifras



de producción aceptables, lo que para ello es indispensable un caudal de agua y salto lo mayor posibles.

Para la aplicación que se pretende presentar no se cumplen éstos parámetros, debido a que la ubicación del edificio (sector terciario o industrial), se decide, según criterios urbanísticos, de propiedad de fincas, etc., no pudiendo desplazar el mismo, por ejemplo, al cauce alto de un río, o al pie de un embalse. Por todo ello se presenta un estudio novedoso de los algoritmos de automatización, para que una vez elegida la ubicación de un cierto edificio, poder dotarlo de una minicentral hidroeléctrica que pueda cumplir ciertas premisas para poder justificar su implantación, a saber:

- 1) Producir energía eléctrica aunque el caudal de aportación presente estiajes importantes, inferior al mínimo técnico.
- 2) Aprovechar en la medida que se pueda para estrategias de DSM, básicamente reducción de puntas por inyección de energía eléctrica.

La obra civil e infraestructuras de la mCH dependerán de la del edificio y de la ubicación del mismo. Se propone la construcción de una balsa fuera de las ins-

talaciones del edificio para ganar el máximo desnivel posible. En principio desniveles del orden de 10 m son aceptables. Si no existe posibilidad de ello se puede construir un depósito elevado a la altura anteriormente citada, e incluso poder utilizar las techumbres de las edificaciones. Por otra parte la balsa o el depósito deberían de tener una capacidad de unos 1800 m<sup>3</sup> (30x30x2 m) para obtener entonces una potencia de unos 25 kW, dato muy favorable para la realización de lo que se pretende. Cabe decir que con valores más pequeños se obtendrá menor potencia pero puede ser satisfactoria para edificios de poca envergadura.

#### Funcionamiento en modo $Q_{\text{Óptimo}}$

Supongamos la central funcionando a nivel constante, y que debido a la hidrología del sistema de aportación de agua, el caudal que podemos captar  $Q_1$  es inferior al 40 % del caudal nominal de la turbina (a partir de ahora solo se considera el caso de la Francis), el sistema pasa a funcionar a caudal óptimo. El sistema discrimina el caudal que entra  $Q_1$ , mediante un caudalímetro analógico, y se obtiene un caudal de funcionamiento  $Q_2$ , que proporciona

durante el vaciado de las conducciones la máxima energía a partir de la expresión:

$$E = K * \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1} * \eta(Q_2)$$

Donde:

K: Constante que depende de parámetros como volumen, etc.

$Q_2$ : Caudal de alimentación a la turbina.

$Q_1$ : Caudal que entra por el canal.

$\eta(Q_2)$ : Rendimiento de la turbina función del caudal de funcionamiento.

Una vez elegido ese caudal  $Q_2$ , la turbina ajusta su distribuidor a ese grado de apertura para obtener la máxima energía con esas condiciones. Después de un tiempo de funcionamiento en éste modo se alcanzará el nivel mínimo de funcionamiento. El sensor de cámara de carga lo detecta, procediendo al cierre del distribuidor y provocando la parada de la turbina, permitiendo que con el caudal que sigue penetrando por las conducciones se vuelvan a llenar las mismas. Cuando se alcance el nivel máximo en cámara de carga, comenzará nuevamente el ciclo. Cuando el caudalímetro de la entrada  $Q_1$  detecta

# RESUMEN

Con el artículo presentado se pretende paliar los problemas que se están produciendo en el sistema eléctrico nacional debido a los altos consumos desplazados a épocas estivales. Para ello se ha optado por proponer la implantación de inyección de energía eléctrica renovable en los edificios singulares controlada por técnicas novedosas para generación y reducción de las puntas de consumo.

un caudal entrante superior al 40% del caudal nominal de la turbina, la central, una vez que el sensor de altura de cámara de carga alcanza el nivel de consigna pasa a funcionar a nivel constante. En todo momento el algoritmo de optimización  $Q_{\text{Óptimo}}$  tiene implementado una subalgoritmo vigilante denominado  $Q_{\text{DSM}}$ . Este algoritmo dispone de un comparador de histéresis que analiza en tiempo real la potencia consumida por la instalación receptora del edificio P. Cuando dicha potencia supera un cierto valor, se activa  $Q_{\text{DSM}}$  procediendo a la apertura al 100%

del distribuidor, para reducir al máximo las puntas de la curva de demanda. Cuando dicha potencia es inferior a un cierto valor se procede a continuar con  $Q_{\text{Óptimo}}$ , regulando el distribuidor según el  $Q_2$  óptimo. Es muy importante decir que para controlar la curva de la demanda de la mejor forma posible, la turbina nunca está parada. Para conseguir esto pueden suceder dos eventos: 1) Que la turbina ya esté en marcha debido al algoritmo  $Q_{\text{Óptimo}}$ , por lo tanto, no hay que hacer nada nuevo. 2) Que la turbina debería de estar parada porque  $Q_{\text{Óptimo}}$  indica que de momento hay que

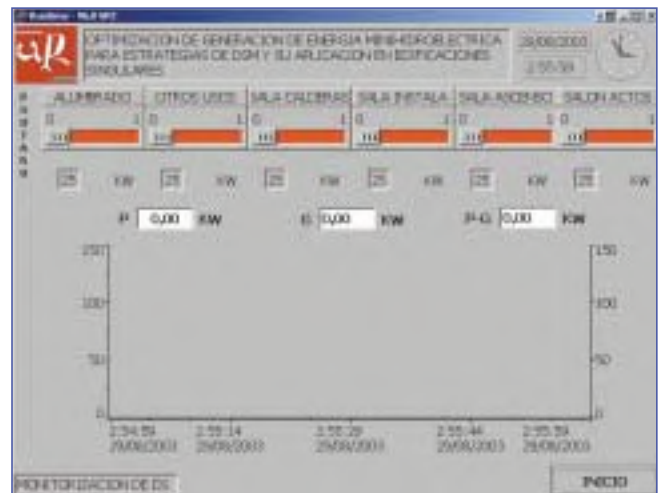
esperar a que  $Q_1$  llene las conducciones y depósito, por lo que entonces se procederá de la siguiente forma: el sistema abrirá suavemente el distribuidor para mover el rodete y arrastrar mediante el correspondiente multiplicador de velocidad al generador asíncrono. Cuando el generador, en vacío, alcance la velocidad de sincronismo este se acoplará a la red de BT del edificio. Se mantendrá entonces en flotación sin aportar ni consumir energía eléctrica, en espera de que si  $Q_{\text{DSM}}$  lo exige se abra el distribuidor para generar instantáneamente energía eléctrica para reducir las puntas de demanda.

### Resultados de $Q_{\text{Óptimo}}$

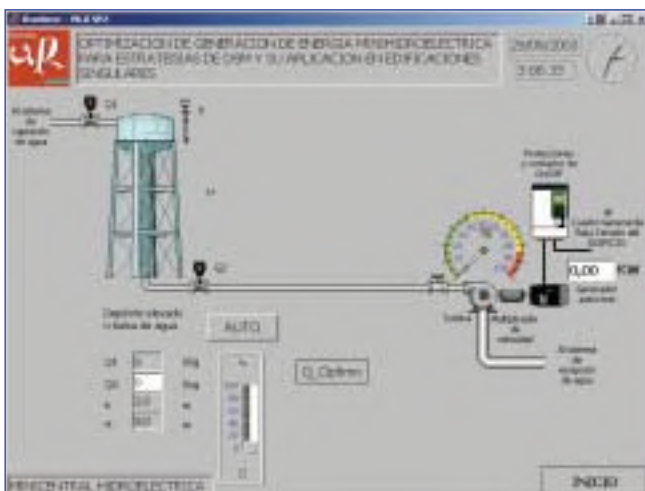
El sistema presentado maximiza la producción energética de la central, ya que aprovecha los caudales que de otra forma no podrían extraerse del sistema de aportación de agua por estar a niveles inferiores del caudal mínimo de funcionamiento de la turbina y, por tanto, se obtiene un incremento en la eficiencia



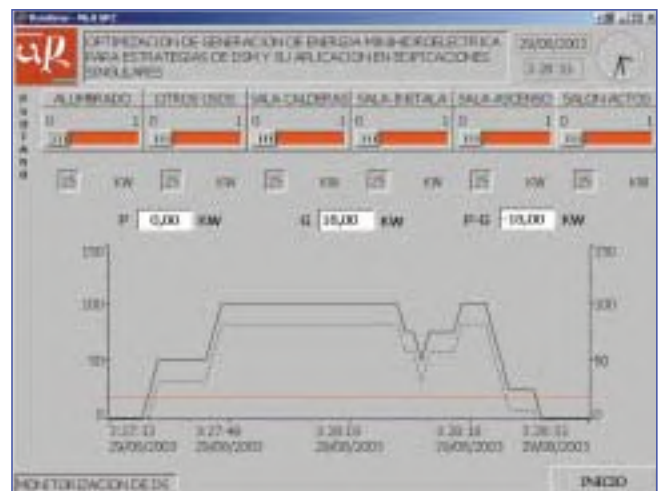
Pantalla de presentación.



Pantalla de DS.



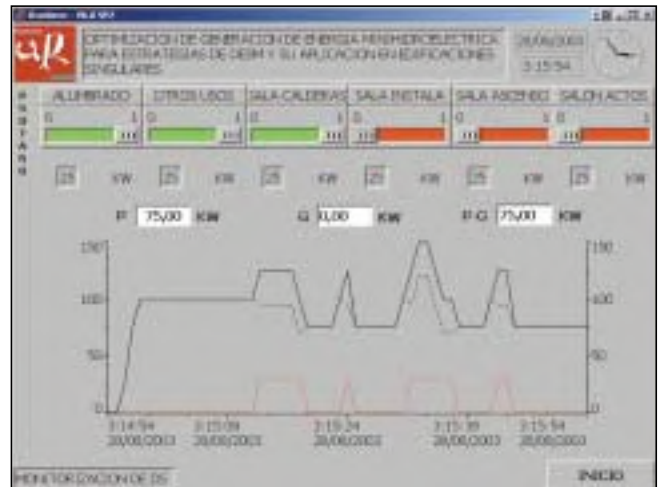
Pantalla de mCH.



Experimento 1: Resultados.



Experimento 2: Resultados.



Experimento 3: Resultados.

energética del aprovechamiento y en la rentabilidad del mismo, siendo la única forma de poder justificar su implantación en edificios del sector terciario o industriales. Además con el modo de funcionamiento  $Q_{DSM}$  se reducen las puntas de la curva de demanda, consiguiendo resultados muy favorables.

#### Herramienta software desarrollada: interfase gráfica de usuario

Se ha desarrollado una herramienta *software* que permite al usuario supervisar y fijar todos los parámetros necesarios para el buen funcionamiento del sistema. Además, en ella se han implementado los algoritmos  $Q_{\text{Óptimo}}$  y  $Q_{DSM}$ .

A continuación, se describe brevemente la aplicación desarrollada:

#### Pantalla de presentación

En esta pantalla se puede acceder a la pantalla de DS o a la pantalla de mCH. Estas se pueden ver a continuación. También existe la posibilidad de salir de la misma.

#### Pantalla de DS

En esta pantalla se puede ver en tiempo real la curva de demanda. Se puede cambiar el tiempo de monitorización del eje de abscisas, en este caso de tiempos. Normalmente es conveniente poner un ancho de banda pequeño para poder apreciar mejor los detalles, para las pruebas se ha elegido 1 minuto. No obstante, los valores se almacenan para poder construir una curva de demanda donde aparezcan tiempos de muestreo de 24 h, 7 días, 1 mes, etc. Cabe decir que simultáneamente a la curva de demanda se puede ver en tiempo real la curva de generación y la resultante de ambas.

#### Pantalla de mCH

En esta pantalla puede apreciarse la mini Central Hidroeléctrica. Pueden verse el depósito, conducciones, turbina, multiplicador, generador asincrónico y equipo de protecciones y acoplamiento. Así como caudalímetros de aportación de agua  $Q_1$ , de turbinado  $Q_2$ , sensor de altura, etc. Existe un botón para ajustar la forma de funcionamiento automática o manual. Se puede ver una indicación textual que nos indicará en modo automático si se ejecuta el algoritmo  $Q_{\text{Óptimo}}$  o  $Q_{DSM}$ . Existe una variable analógica que nos indicará en % la apertura del distribuidor y otra la potencia de generación en kW.

#### Experimentación y pruebas

Para comprobar el funcionamiento de los algoritmos  $Q_{\text{Óptimo}}$  y  $Q_{DSM}$ , se han probado los siguientes experimentos:

- Experimento 1: aportación de caudal  $Q_1$  mayor que el mínimo técnico. Prueba de  $Q_{\text{Óptimo}}$ .
- Experimento 2: aportación de caudal  $Q_1$  menor que el mínimo técnico. Prueba de  $Q_{\text{Óptimo}}$ .
- Experimento 3: variaciones de la curva de demanda. Prueba de  $Q_{DSM}$ .

#### Resultados y conclusiones

##### Experimento 1: Resultados

Puede verse en la gráfica, según el siguiente código (para todas las pantallas):

- Curva de demanda: línea continua negro. (P)
- Curva de generación: línea continuo rojo. (G)
- Curva resultante: línea a puntos. (P-G)

Como las variaciones de la curva de demanda no han superado los valores preestablecidos como a corregir, se ha generado energía eficiente según  $Q_{\text{Óptimo}}$ , pro-

duciéndose exclusivamente un efecto de offset en la curva de demanda.

#### Experimento 2: Resultados

Como las variaciones de la curva de demanda no han superado los valores preestablecidos como a corregir, se ha generado energía eficiente según  $Q_{\text{Óptimo}}$ , produciéndose exclusivamente un efecto de offset en la curva de demanda. Cabe apreciar que se ha generado con caudales inferiores al mínimo técnico con lo que se maximaliza la eficiencia de la mini central hidroeléctrica.

#### Experimento 3: Resultados

Como las variaciones de la curva de demanda han superado los valores preestablecidos como a corregir, se ha activado el algoritmo  $Q_{DSM}$ , obteniéndose los efectos que se pueden apreciar en el gráfico calificándose de excelentes. Se reducen las puntas de la curva de demanda alrededor de un 20-25 %.

## AUTORES

Juan Carlos Sáenz-Diez Muro  
juan-carlos.saenz-diez@die.unirioja.es

Ingeniero técnico industrial. Ingeniero industrial. Profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de La Rioja.

Juan Manuel Blanco Barrero

Ingeniero técnico industrial. Ingeniero industrial. Profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de La Rioja.

Emilio Jiménez Tofe

Ingeniero técnico industrial. Doctor ingeniero industrial. Profesor jubilado del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de La Rioja.