

# **OPTIMIZACION DE GENERACION DE ENERGIA MINIHIDROELECTRICA PARA ESTRATEGIAS DE DSM Y SU APLICACIÓN EN EDIFICACIONES SINGULARES**

**Juan Carlos Sáenz-Díez Muro**  
e-mail: [juan-carlos.saenz-diez@die.unirioja.es](mailto:juan-carlos.saenz-diez@die.unirioja.es)  
**Juan Manuel Blanco Barrero**  
e-mail: [juan-manuel.blanco@die.unirioja.es](mailto:juan-manuel.blanco@die.unirioja.es)

**Dpto. de Ingeniería Eléctrica  
UNIVERSIDAD DE LA RIOJA**

**Teléfono: 941299483 , Fax: 941299478**

## **RESUMEN**

Empieza a tener una importancia vital el poder reducir las puntas de la curva de la demanda de los consumidores de energía eléctrica para evitar cortes en el suministro eléctrico. Dentro de las estrategias más prometedoras están las de generación de energía renovable para éste fin.

KEYWORDS: Energía, DSM, Hidroeléctricidad, E.Renovable, Bioclimático

## **1. Introducción.**

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 climatizadores 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 descrita en éste artículo. Para la

optimización de los diferentes sistemas que forman parte de las instalaciones y equipamiento del edificio, cabe citar :

- Estrategias de DSM en el sector terciario e industrial.
- Cortes ON/OFF ó 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.

## **2.Optimizacion de generacion de energia minihidraulica: 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 ó 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 instalaciones del edificio para ganar el máximo desnivel posible. En principio desniveles del orden de 10 metros 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.

### 3. Funcionamiento en modo Q<sub>optimo</sub>

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<sub>1</sub>" 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<sub>1</sub>", mediante un caudalímetro analógico, y se optiene un caudal de funcionamiento "Q<sub>2</sub>", que proporciona durante el vaciado de las conducciones la máxima energía a partir de la expresión:

Donde:

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

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

Q<sub>2</sub>: Caudal de alimentación a la turbina.

Q<sub>1</sub>: Caudal que entra por el canal.

η(Q<sub>2</sub>): Rendimiento de la turbina función del caudal de funcionamiento.

Una vez elegido ese caudal "Q<sub>2</sub>", 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 el ciclo nuevamente. Cuando el caudalímetro de la entrada "Q<sub>1</sub>" detecta 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<sub>Optimo</sub> tiene implementado una subalgoritmo vigilante denominado Q<sub>DSM</sub>. 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<sub>DSM</sub> 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<sub>Optimo</sub>, regulando el distribuidor según el "Q<sub>2</sub>" óptimo. Es muy importante decir que para controlar la curva de la demanda de la mejor forma posible, la turbina nunca esta parada. Para conseguir esto pueden suceder dos eventos: 1) Que la turbina ya esté en marcha debido al algoritmo Q<sub>Optimo</sub>, por lo tanto no hay que hacer nada nuevo. 2) Que la turbina debería de estar parada por que Q<sub>Optimo</sub> indica que de momento hay que esperar a que "Q<sub>1</sub>" 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<sub>DSM</sub> lo exige se abra el distribuidor para generar instantáneamente energía eléctrica para reducir las puntas de demanda.

#### 4. Resultados de Q\_optimo

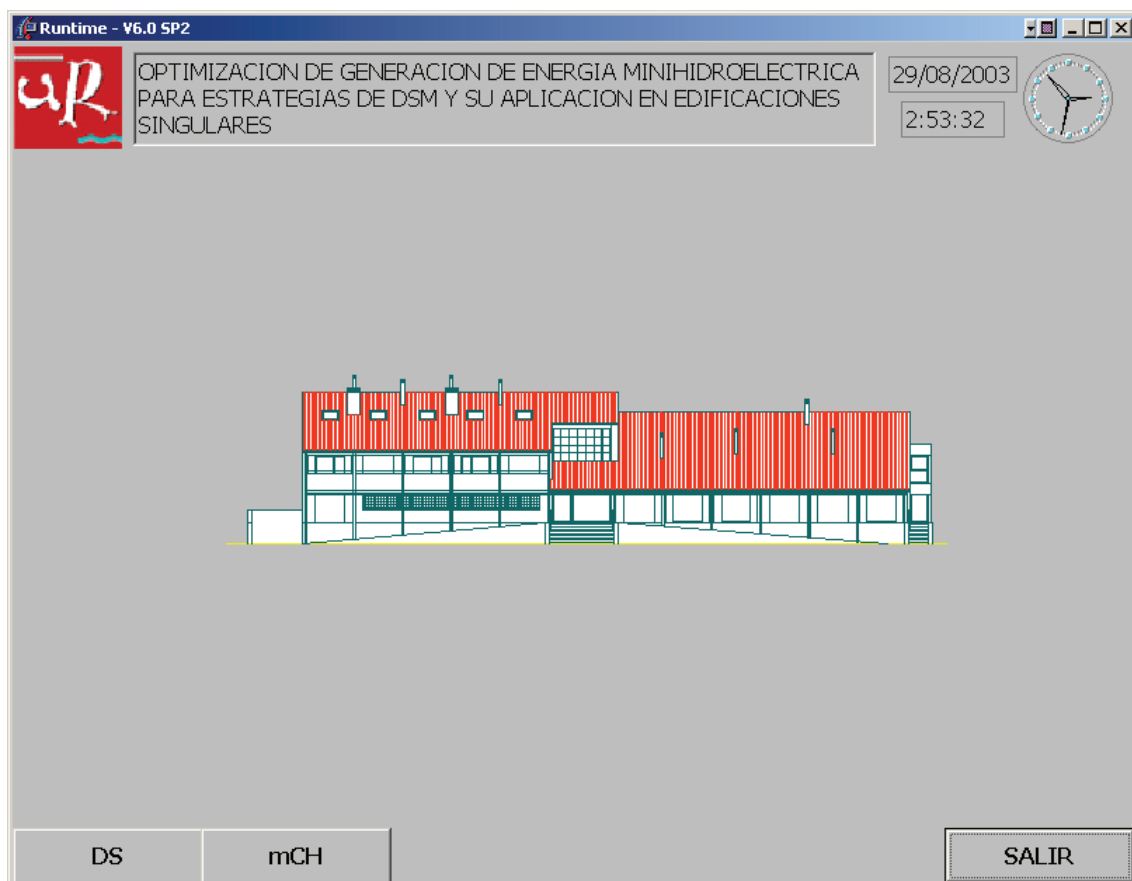
El sistema presentado maximiza la producción energética de la central, ya que aprovecha los caudales que de otra forma no podrían detraerse del sistema de aportación de agua por estar a niveles inferiores del caudal mínimo de funcionamiento de la turbina y por tanto se obtiene un incremento en la eficiencia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

#### 5. 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\_Optimo y Q\_DSM.

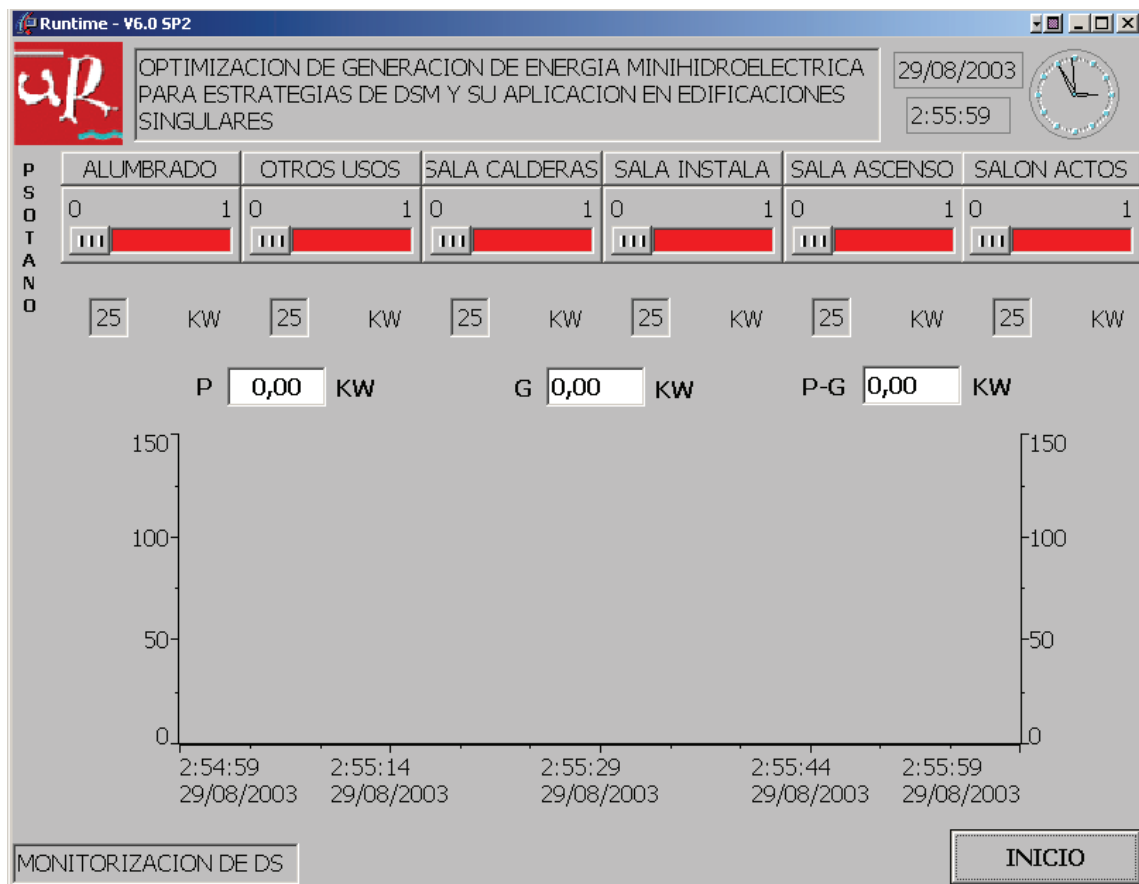
A continuación se describe brevemente la aplicación desarrollada:

#### 6. Pantalla de presentación



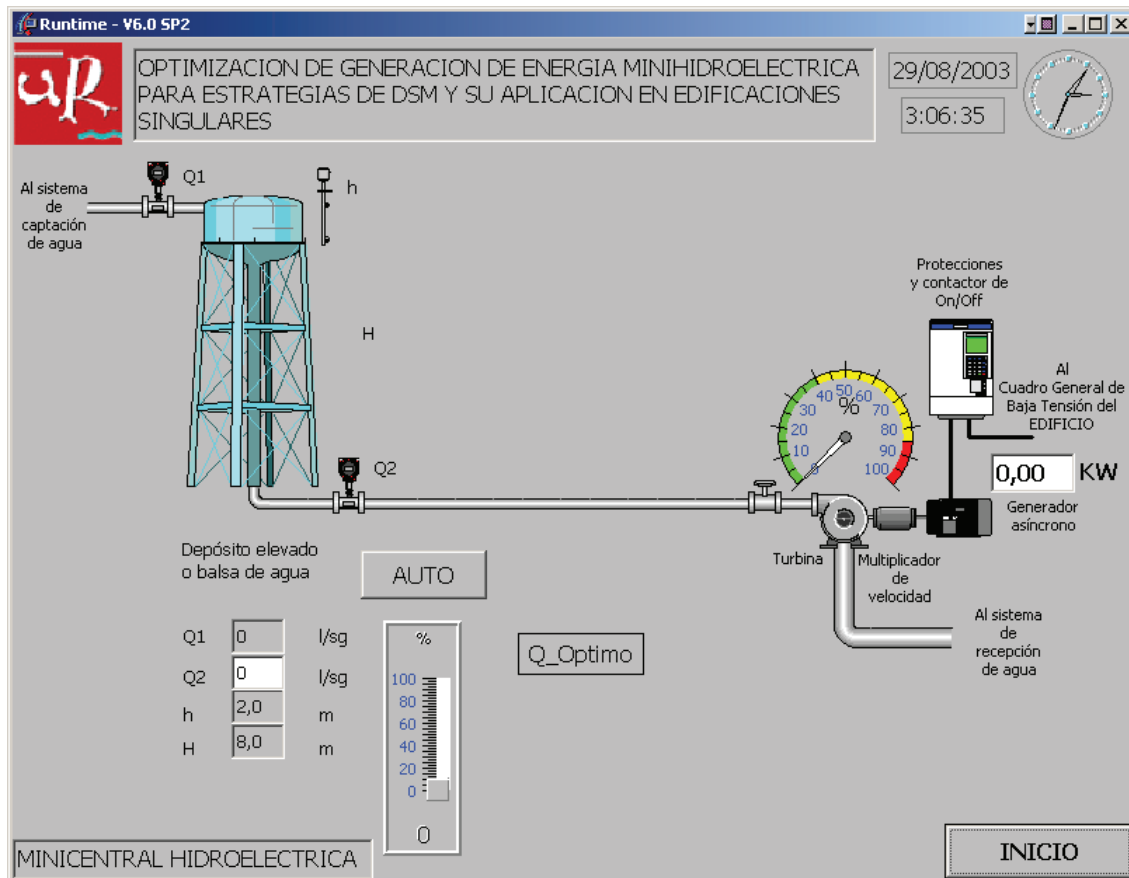
En ésta pantalla se puede acceder a la pantalla de DS ó a la pantalla de mCH. Estas se pueden ver a continuación. También existe la posibilidad de salir de la misma.

## 7. Pantalla de ds



En ésta pantalla se puede ver en tiempo real la curva de demanda. Se puede cambiar el tiempo de monitorización del eje de abscisas, en éste 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.

## 8. Pantalla de mCH



En ésta pantalla puede apreciarse la mini Central Hidroeléctrica. Pueden verse el depósito, conducciones, turbina, multiplicador, generador asíncrono y equipo de protecciones y acoplamiento. Así como caudalímetros de aportación de agua "Q1", de turbinado "Q2", 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\_Optimo ó Q\_DSM. Existe una variable analógica que nos indicará en % la apertura del distribuidor y otra la potencia de generación en KW.

## 9. Experimentación y pruebas

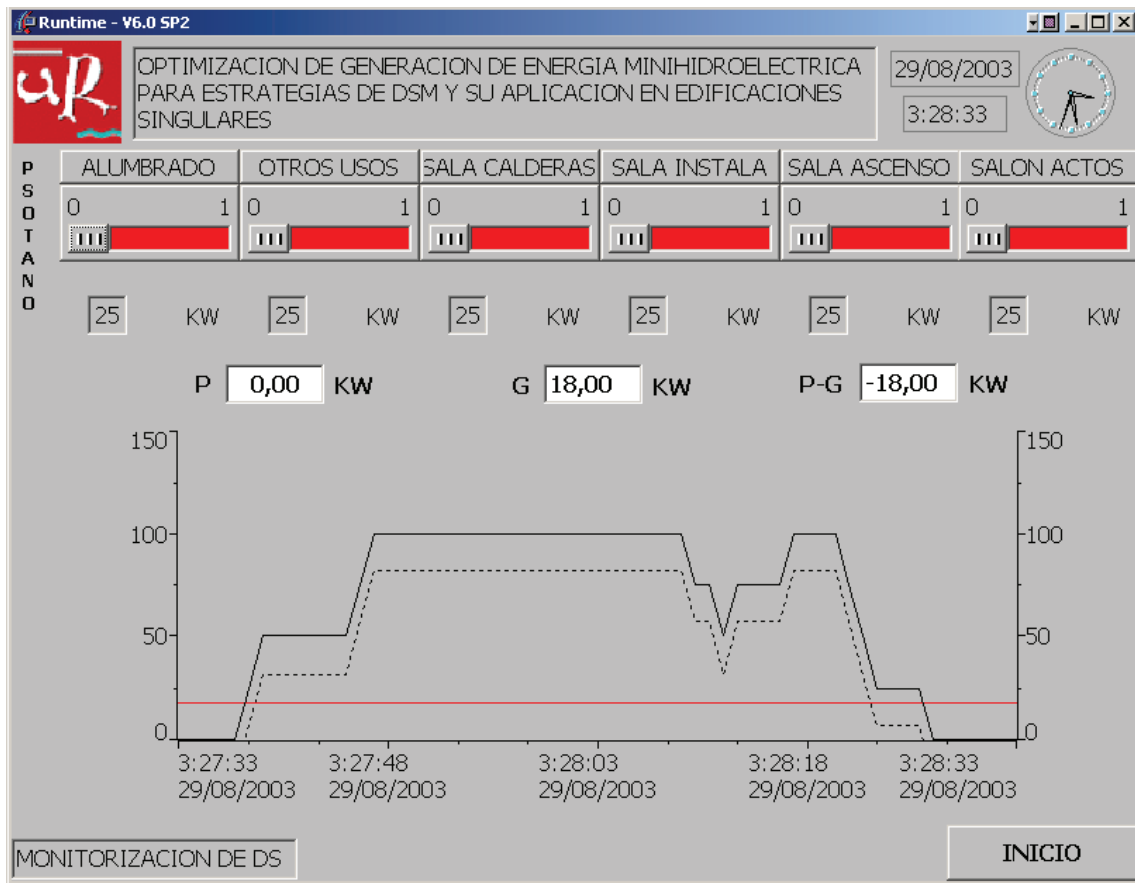
Para comprobar el funcionamiento de los algoritmos Q\_Optimo y Q\_DSM, se han probado los siguientes experimentos:

- Experimento\_1:** Aportación de caudal "Q1" mayor que el mínimo técnico. Prueba de Q\_Optimo.
- Experimento\_2:** Aportación de caudal "Q1" menor que el mínimo técnico. Prueba de Q\_Optimo.
- Experimento\_3:** Variaciones de la curva de demanda. Prueba de Q\_DSM

## 10. Resultados y Conclusiones

### Experimento\_1: Resultados.

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



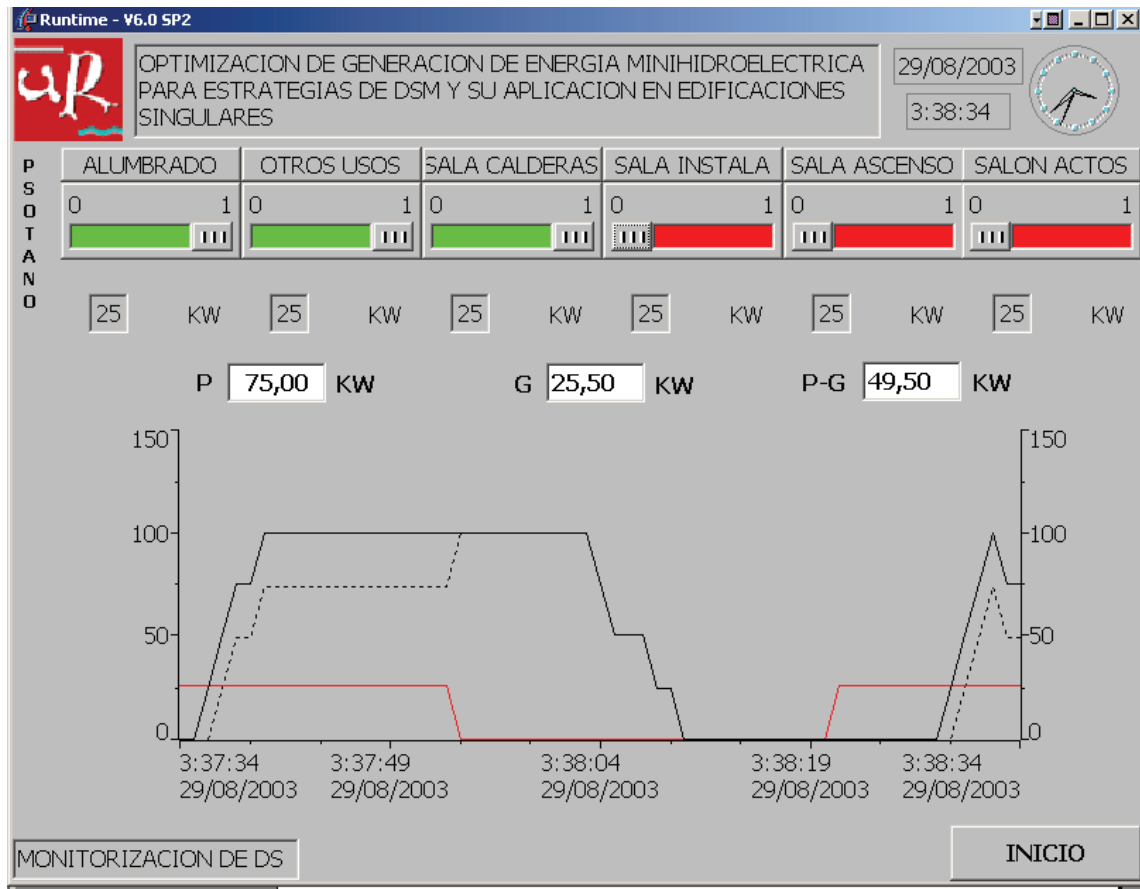
Curva de demanda: Línea continua negro. (P)

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  $Q_{Optimo}$ , produciéndose exclusivamente un efecto de Offset en la curva de demanda.

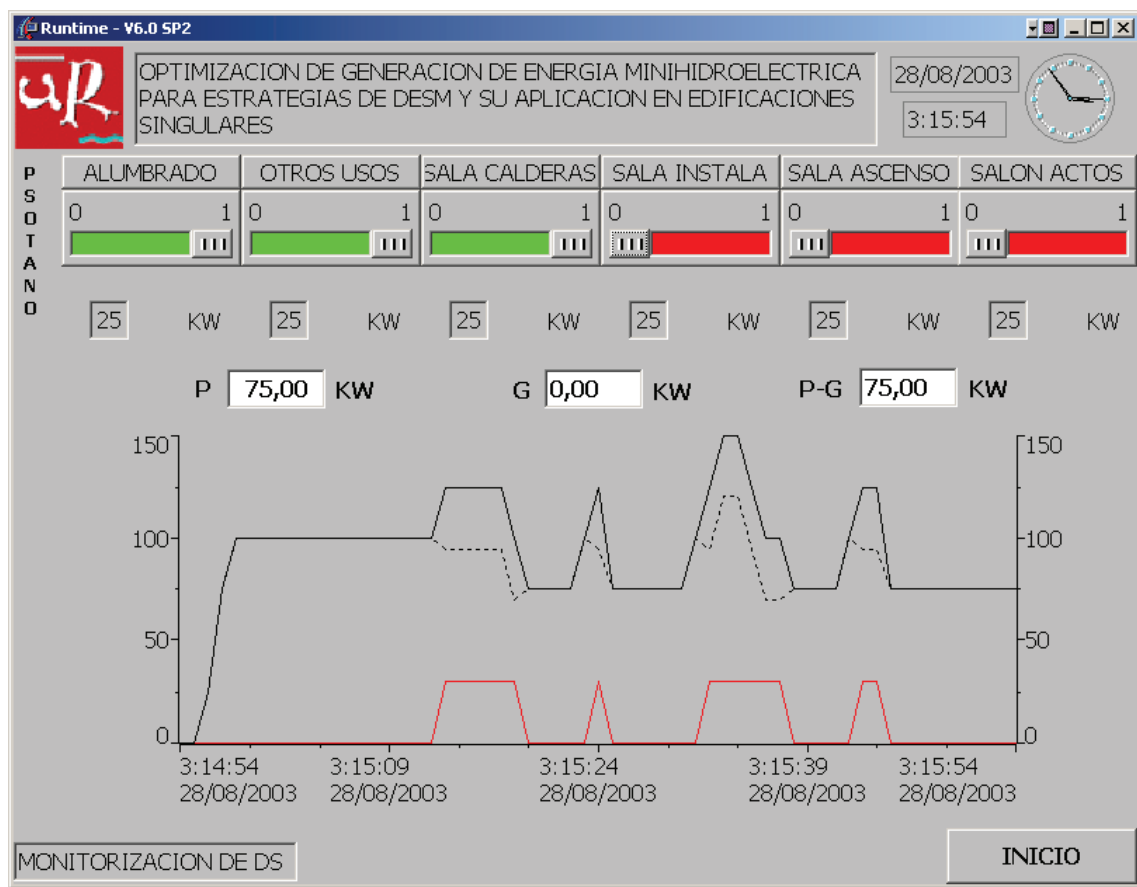
## Experimento\_2: Resultados.



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

### Referencias

Sáenz-Díez Muro, J.C.; Blanco Barrero, J.M.; Lara Santillán, P.; Sistema de captación y tratamiento de datos meteorológicos para aplicación a la generación eléctrica proveniente de la energía eólica. Libro de actas XII Reunión de Grupos de Investigación en Ingeniería Eléctrica. Córdoba, 2002.

Sáenz-Díez Muro, J.C.; Blanco Barrero, J.M.; Jiménez Tofé, E.; Desarrollo de un equipo de toma de datos y control de proceso de gasificación de biomasa residual. Universidad de La Rioja. Logroño, 1996-97.

Sáenz-Díez Muro, J.C.; Blanco Barrero, J.M.; Jiménez Tofé, E.; Sistema de telecontrol de centrales hidroeléctricas con SCADA y PLC. Revista Técnica Industrial N°233. Madrid, 1999.

Sáenz-Díez Muro, J.C.; Blanco Barrero, J.M.; Jiménez Tofé, E.; Sistema para pequeños caudales en centrales hidroeléctricas de tipo fluyente.. Revista Técnica Industrial N°236. Madrid, 2000.

Espinosa, U.; Sáenz-Díez Muro, J.C.; Blanco Barrero, J.M.; Jiménez Tofé, E.; y otros. Proyecto de Investigación OTRI. Centro de Interpretación de las Energías Renovables del Valle del Ocón (CIERVO). Logroño, 2.002-2.003.

Asociación Española de Promotores Públicos de Vivienda y Suelo (AEPUS-AVS). Boletín Informativo nº48, de marzo de 1.998: "Vivienda y construcción sostenible".

Acta Única Europea. Tratado de la Comunidad, artículo 100.3.

Xercavins i Valls, Joseph (1.996) Qué es el desenvolupament sostenible (I Jornades: Construcció i Desenvolupament sostenible, Barcelona, 16,17 y 18 de mayo de 1.996).

Reducción de demanda energética en edificación. Plan de Asesoramiento y Control Energético. Empresa Pública de Suelo de Andalucía. (EPSA).

Antoñanzas A., Blanco J.M. y Sáenz-Díez Muro J.C. (1999). Aplicaciones eléctricas industriales de las energías renovables. ISBN. 84-699-1181-3.

S.Rojas, V. Martín. Centrales Hidroeléctricas. Manuales Unex, Nº18. Universidad de Extremadura. 1997.

Mataix, C. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. Ediciones del Castillo. Madrid, 1982.

Gellings C., Chamberlin J., Demand-Side Management Planning. USA, 1.993.

Gellings C., Chamberlin J