

Gestión de la Demanda para el 5^{to} Piso del Bloque 9 Enfocada a la Micro Red UPB

Santiago GÓMEZ, Pablo PENAGOS, Gabriel LÓPEZ

*Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Pontificia Bolivariana; Cir.1 #70-01, B11, Medellín,
Colombia.*

santiago.gomezre@upb.edu.co

Resumen: En este artículo se presentan, la descripción de la aplicación y funcionamiento de un dispositivo gestionador de demanda comercial instalado en el 5^{to} piso del bloque 9, capaz de manipular cargas no esenciales. Se presentan las mediciones de consumo eléctrico, se plantea un modelo de incentivos y cobros aplicable a la realidad del mercado eléctrico nacional colombiano para esquemas de respuesta a la demanda (RD) y se muestran los estándares de comunicación utilizados por él. Copyright © 2015 UPB

Palabras claves: Gestionador de demanda, potencia eléctrica, respuesta a la demanda y mercado eléctrico.

Abstract: In this paper are presented the description of the application and performance of a demand side management device installed in the 5th floor of UPB's block 9 that is capable of manipulate non-essential loads. Also, are shown the electrical consumption measurement, it is propose an incentive and payments model applicable to the actuality of the Colombian electricity market for demand response (DR) schemes and are described the communication standards used by the device.

Key words: Demand side management system, electric power, demand response and electricity market

s2015-04-16, r2015-05-20, a2015-05-21

1. INTRODUCCIÓN

La respuesta de la demanda es una forma de integrar al consumidor con el sistema de potencia, por medio de métodos y estrategias para reducir el consumo de energía eléctrica en puntos críticos de operación de la red. Uno de los métodos para modificar el comportamiento del usuario final con respecto al consumo de energía es la gestión de demanda, la cual consiste en aprovechar la desconexión de cargas no esenciales de forma estratégica, con el fin subsanar problemas en el sistema de potencia y gestionar generación distribuida (Indian Power Market, 2013).

Existen dos metodologías principales para realizar acciones RD, una por manipulación indirecta, la cual consiste en modificar los precios de la energía, con el fin de provocar cambios en el comportamiento de los consumidores y suavizar la curva de demanda. Y la otra, por manipulación directa de las cargas del consumidor, demanda, pudiendo estas cargas actuar como una energía extra disponible para casos de operación del sistema en condición de emergencia.

Ahora, los esquemas de manipulación directas de demanda, generan en el sistema eléctrico de potencia cambios significativos en su operatividad debido a la modificación de variables eléctricas, estas modificaciones pueden estar encaminadas a recuperar el sistema por medio de la utilización de esquemas RD, cuando este está en estado de saturación o inestabilidad. La reducción de demanda se ve reflejada directamente en el mercado

eléctrico y a medida que el consumo de energía eléctrica pueda disminuir, su costo también podrá ser ajustable.

En virtud de lo anterior, se inicia la implementación de un proyecto piloto en Medellín que presente los beneficios de un gestor de demanda a las empresas involucradas en la prestación de los servicios de energía eléctrica en Colombia, abriendo la posibilidad a que dichas empresas inviertan e impulsen de forma vehemente el consumo consciente y eficiente de los recursos energéticos para el bien general de la sociedad.

Es por esto que es creado en el bloque 9 un laboratorio escalable para las pruebas de un dispositivo de gestión de demanda comercial, dicho dispositivo donado por la empresa Innovari es llamado el agente de energía (EA por sus siglas en inglés), siendo capaz de conectar y desconectar cargas no esenciales además de reducir el funcionamiento de los aires acondicionados para lograr un cambio en la curva de demanda en momentos de congestión de la red eléctrica. El dispositivo fue instalado en el quinto piso del bloque 9, como programa piloto para la evaluación de la viabilidad de tecnologías enfocadas a la RD. A continuación se presenta una descripción del funcionamiento del dispositivo por medio en la sección 2, seguido del análisis de la actuación del dispositivo EA mediante simulaciones de una red ejemplo y un modelo de desconexión sobre la curva de demanda en la sección 3, además se propone una forma de incentivos y cobros para la retribución económica de las estrategias RD en Colombia en la sección 4 y por último se describen los componentes de comunicaciones presentes en el dispositivo EA en la sección 5.

2. FUNCIONAMIENTO Y REGISTRO DE DATOS

2.1. Descripción del funcionamiento

El dispositivo EA es un sistema de respuesta a la demanda que utiliza el control directo de carga para instalaciones industriales, tiene la capacidad de realizar manipulación continua y discreta de la demanda para diferentes procesos, posee la funcionalidad de realizar gestión de generación distribuida para atender la carga desconectada y como valor agregado puede ser utilizado como un equipo para la automatización de edificios. Físicamente, el EA consta de 2 tableros descritos a continuación:

Un tablero de relés auxiliares normalmente cerrados usados para la conexión y desconexión de cargas el cual es instalado al inicio de la instalación justo después de los interruptores de las cargas en el tablero de distribución. Los relés auxiliares son normalmente cerrados con el objetivo de ser transparente para la instalación en caso de falla del dispositivo, evitando así la interrupción del suministro de energía eléctrica por desconexión del EA.

Y un tablero de control central en el cual se encuentra la unidad de procesamiento principal con sus periféricos de comunicaciones, memoria y alimentación. Para la alimentación, este tablero cuenta con un circuito de poder que permite mantener su funcionamiento durante aproximadamente un minuto en caso de desconexión, esto en busca de realizar una última orden recibida y reportar su estado al centro de control remoto. Para las comunicaciones posee diferentes módulos que le permiten

controlar el tablero de relés auxiliares, controlar dispositivos externos y conectarse a la red para diversos propósitos.

Para la toma de medidas con el equipo en funcionamiento se hizo uso de la programación de un horario semanal teniendo en cuenta la ocupación diaria de la instalación para no interferir con las clases y el transcurso normal de la jornada estudiantil. En la Figura 1 se observa la programación en su aplicativo web.

GRUPOS DE ILUMINACIÓN	DOM	LUN	MAR	MIE	JUE	VI	SAB
Aula 511	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM
Aulas 501-502	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM
Aulas 503-504	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM
Aulas 506-507	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM
Aulas 508-509	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM
Aulas 512-514	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM
Aulas 515-516	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM
Aulas 517-518	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM
Aulas 519-520	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM	8:00 AM - 11:00 PM
Baños	8:00 AM - 8:00 PM 8:00 PM - >>>	<<< 7:00 AM 8:00 PM ->>>					
Circulación	<<< 7:00 AM 8:00 PM ->>>	<<< 7:00 AM 8:00 PM ->>>	<<< 7:00 AM 8:00 PM ->>>	<<< 7:00 AM 8:00 PM ->>>	<<< 7:00 AM 8:00 PM ->>>	<<< 7:00 AM 8:00 PM ->>>	<<< 7:00 AM 8:00 PM ->>>
Sala de Estudio N	8:00 PM - 10:00 PM	8:00 AM - 7:00 AM 8:00 PM - 11:00 PM	8:00 AM - 7:00 AM 8:00 PM - 11:00 PM	8:00 AM - 7:00 AM 8:00 PM - 11:00 PM	8:00 AM - 7:00 AM 8:00 PM - 11:00 PM	8:00 AM - 7:00 AM 8:00 PM - 11:00 PM	8:00 AM - 7:00 AM 8:00 PM - 11:00 PM
Sala de Estudio S	8:00 PM - 10:00 PM	8:00 AM - 7:00 AM 8:00 PM - 11:00 PM	8:00 AM - 7:00 AM 8:00 PM - 11:00 PM	8:00 AM - 7:00 AM 8:00 PM - 11:00 PM	8:00 AM - 7:00 AM 8:00 PM - 11:00 PM	8:00 AM - 7:00 AM 8:00 PM - 11:00 PM	8:00 AM - 7:00 AM 8:00 PM - 11:00 PM

Figura 1. Horario definido para la actuación del EA, elaboración propia

2.2. Registro de datos

Con el objetivo de evaluar y analizar el comportamiento de la demanda de potencia eléctrica en la instalación, piso 5 bloque 9 UPB, se instaló un analizador de red en el ramal de iluminación

del piso 5 y se realizó la toma de datos en dos semanas ,en la primera semana desactivó el equipo EA para adquirir los datos de la instalación en funcionamiento normal, EA sin actuación, y en la segunda semana se procedió a la activación del EA con el esquema horario presentado en la Figura 1, las gráficas de dichos resultados se muestran a continuación.

Medidas de potencia sin actuación del EA. En la Figura 2 se observa la demanda de la iluminación del 5^{to} piso bloque 9 durante el periodo definido, sin operación del dispositivo EA.

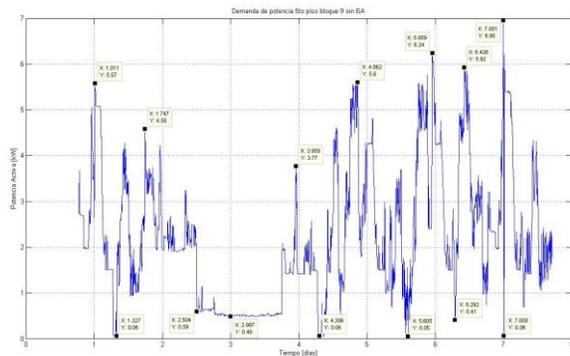


Figura 2. Demanda iluminación 5^{to} piso sin actuación EA, elaboración propia

En la gráfica anterior se observan valores máximos de hasta 6,95 kW y valores mínimos de hasta 50 W.

Medidas de potencia con actuación del EA. En la Figura 3 se observa la demanda de la iluminación del 5^{to} piso bloque 9 durante el periodo definido., con actuación del dispositivo EA.

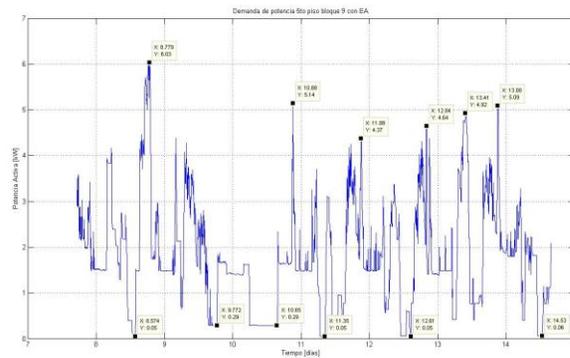


Figura 3. Demanda iluminación 5to piso con actuación EA, elaboración propia

En esta figura se observan valores máximos de hasta 6,03 kW y valores mínimos de hasta 50 W.

2.2.1. Cálculos de eficiencia

Se obtiene un valor promedio de reducción final, el cual determina el ahorro del consumo energético para una semana de funcionamiento del dispositivo. En la Figura 4 se presenta la diferencia de consumos de potencia eléctrica para la iluminación del 5^{to} piso, con respecto a la actuación del sistema de RD EA.

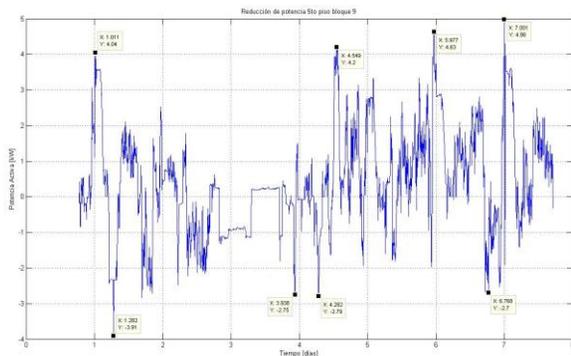


Figura 4. Diferencia del consumo de potencia iluminación 5to piso, elaboración propia

El promedio total de reducción de consumo para la iluminación del 5^{to} piso, comparando las 2 semanas de medición, es de alrededor de 404 W.

3. MODELO DEL SISTEMA

3.1. Modelamiento y simulación

Con los datos del modelo IEEE 39 barras (Athay, Podmore, & Virmani, 1979; Pai, 1989), se realizó la afinación de la red en el programa DigSILENT *Power Factory* (DIGSILENT GmbH, 2011) para incluir fuentes de generación no convencionales de

energía renovable. En la Figura 5 se observa la red IEEE 39 barras modelada.

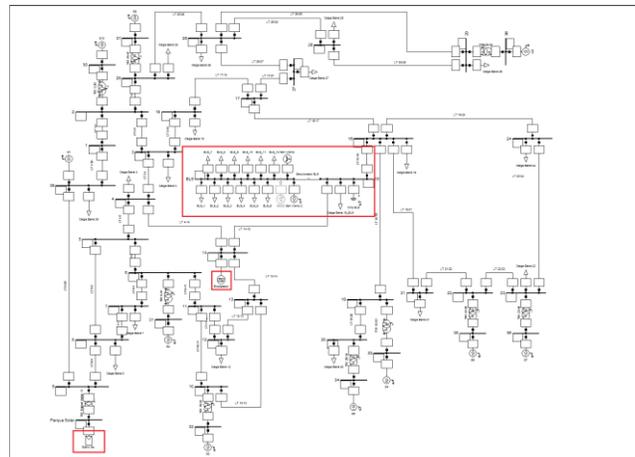


Figura 5. Red IEEE 39 barras con generación distribuida, elaboración propia

Para las simulaciones de estado estacionario se realizaron esquemas de desconexión de carga, para los casos en donde existe o no generación en la barras 15, casos en donde la carga se desconecta del sistema pero es atendida por los generadores eólicos o casos en donde las cargas desconectadas son atendidas por el banco de baterías. También, se simulan contingencias de línea, las más severas para el sistema en cercanías de la barra 15, y para cada contingencia se analizan los casos en donde existe

desconexión de cargas siendo estas alimentadas por los generadores eólicos.

En cuanto a la curva de demanda, con las mediciones realizadas en la iluminación del piso 5 del bloque 9, se utilizó el programa Simulink de MatLab (MathWorks, 2012) con el objetivo de simular la actuación del EA sobre esta curva. Los modelos de desconexión son basados en la capacidad nominal de los ramales de iluminación del 5^{to} piso y esquemas basados en diferentes niveles de impacto. En la Figura 6, se presenta la curva de demanda utilizada para las simulaciones del EA.



Figura 6. Curva demanda de iluminación para un día, elaboración propia

3.2. Análisis de resultados simulación

A continuación, en la Figura 7 a la Figura 9 se presentan los resultados de las simulaciones para estado estacionario.

Para los análisis de flujo de cargas en operación normal, se puede concluir:

En el caso de actuación del esquema RD y la generación eólica atendiendo las cargas desconectadas, no se presentan violaciones en los rangos de operación permitidos en ninguno de los equipos de la red, permitiendo el aislamiento de la carga con respecto al sistema de potencia y la atención de dicha carga por generación distribuida.

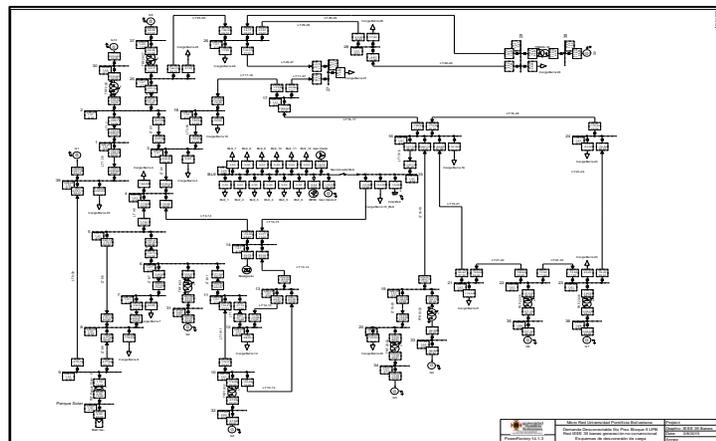


Figura 7. FC caso con RD y atención eólica de carga, elaboración propia

Para los análisis de flujo de cargas en contingencia N-1, se puede concluir:

En el caso 1, contingencia en la línea B15-B16, sin actuación del EA, se presentan sobre cargas en las líneas de transmisión hacia la barra 14-4 y 15-16, por redistribución del flujo de potencia.

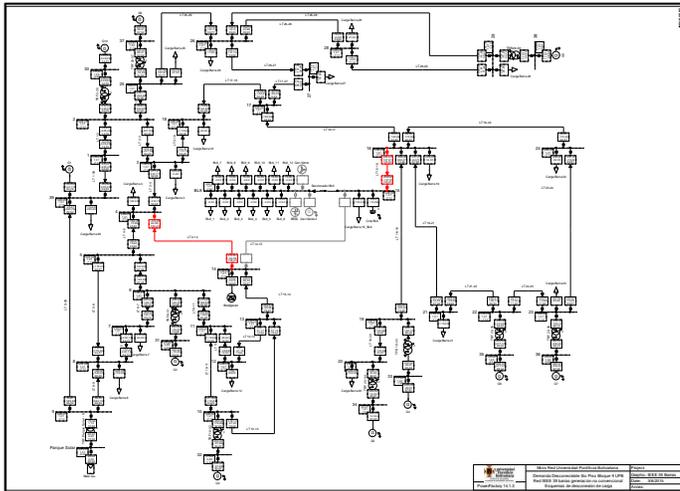


Figura 8. Contingencia línea B15-B14, sin RD, elaboración propia

En el caso 2, contingencia en la línea B15-B14, actuación de los esquemas RD y la carga de las barra 15 al 100% de su capacidad instalada, no necesaria la manipulación de esta carga, se observa una reducción total en los problemas generados por dicha contingencia, evidenciando las ventajas que estos esquemas traen a los sistemas de potencia en momentos de emergencia.

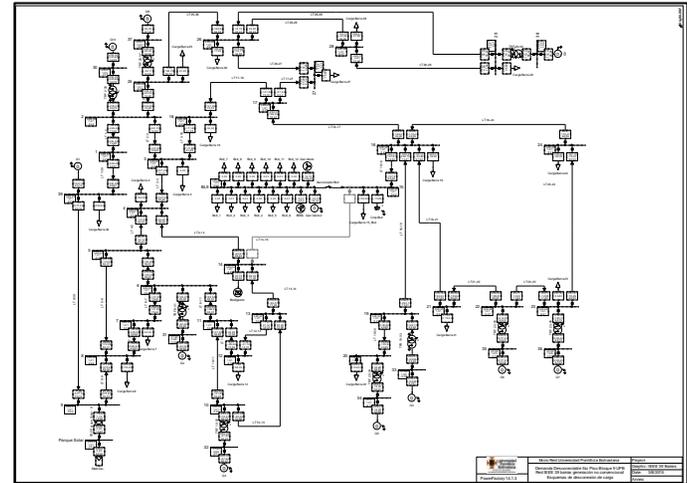


Figura 9. Contingencia línea B15-B14, con RD, elaboración propia

En la Figura 10 y Figura 11 se muestra los resultados en estado transitorio.

Para los análisis de estabilidad transitoria, se puede concluir:

La desconexión súbita de carga genera un aumento en la frecuencia de las máquinas de unos 0,18 Hz, aumento que persiste hasta el estado estacionario.

Las tensiones de las barras cercanas a la desconexión sufre un aumento que alcanza un pico de 1.01 p.u.

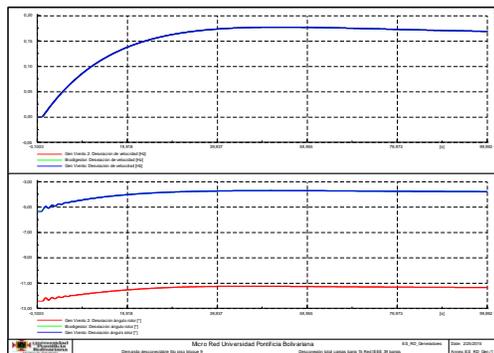


Figura 10. Generadores durante desconexión, elaboración propia

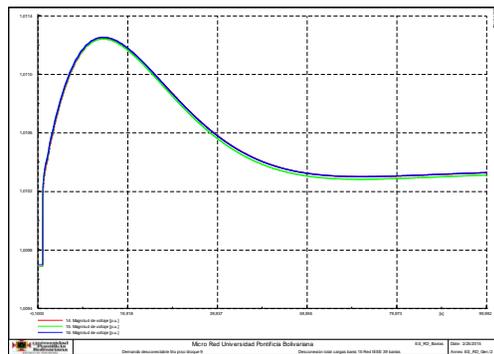


Figura 11. Tensiones barras durante desconexión, elaboración propia

Para la simulación del EA, se definen esquemas de desconexión con diferentes niveles de impacto a la instalación con el objetivo de obtener una reducción de un orden mayor. En la Tabla 1 se observa la propuesta de impactos a analizar.

Tabla 1. Propuesta niveles de impacto EA, elaboración propia

Escenarios de impacto	Cargas desconectables
Consecuencia Baja	Circulación 1 Aulas 515-516 Aulas 519-520
	Circulación 1 Aulas 515-516 Aulas 519-520 Sala Estudio Norte Sala Estudio Sur
Consecuencia Media	Circulación 1 Circulación 2 Aulas 515-516 Aulas 519-520 Sala Estudio Norte Sala Estudio Sur
	Todos los ramales
Emergencia red	Todos los ramales

En la Figura 12, Figura 13 y Figura 14 se presentan las curvas de demanda de iluminación del 5^{to} piso, para los niveles de desconexión bajo, medio y alto propuestos, respectivamente.

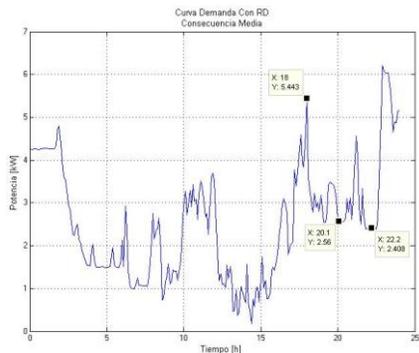


Figura 12. Acción del EA para consecuencia baja impacto propuesto, elaboración propia

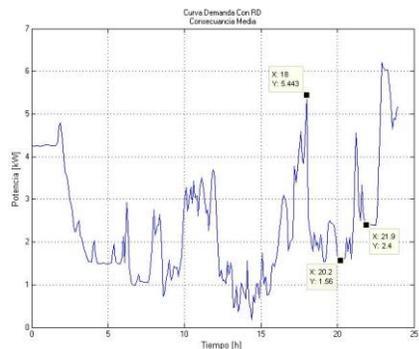


Figura 13. Acción del EA para consecuencia media impacto propuesto, elaboración propia

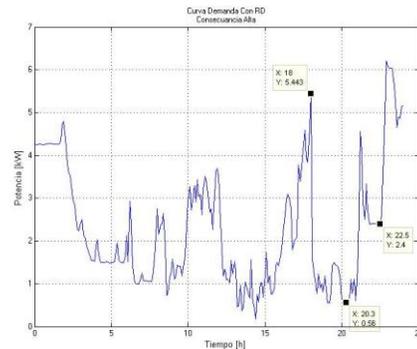


Figura 14. Acción del EA para consecuencia alta impacto propuesto, elaboración propia

La potencia disponible para la desconexión, teniendo como base la capacidad instalada de los ramales de iluminación y usando los niveles de consecuencias propuestos para la actuación del EA, son aproximadamente 2 kW, 3 kW y 4 kW, para consecuencia baja, media y alta respectivamente.

4. PROPUESTA MODELO INCENTIVOS Y COBROS

Partiendo de los programas presentados en (Charles River Associates, 2005; US Department of Energy, 2006), se realiza una propuesta para remunerar las contribuciones RD.

Resumiendo lo anterior, el cliente del servicio de energía participante en el programa de RD autoriza la manipulación de su

carga 24 horas antes del suceso y dependiendo del tipo de contrato acordado se establecen sus penalidades y descuentos. En dichos acuerdos se establece la potencia disponible para los episodios de RD y se plantean las siguientes opciones de facturación:

1. Descuentos solo en los momentos en que haya acción RD por parte del usuario, y únicamente se cobran penalidades cuando este con 24 horas de anticipación autorice el evento y lo impida en el momento de ejecución.

2. Descuentos permanentes en su facturación debido a la disponibilidad, pero se cobran penalidades cuando no autorice la desconexión o reducción sin importar que la negativa sea 24 horas antes del evento

5. COMUNICACIONES

El dispositivo EA cuenta en su estructura interna con dos tarjetas *RouterBoard* RB450 y RB411UAHR para la interconexión y comunicación con otros periféricos y los servidores de la empresa Innovari. Dichas tarjetas poseen diferentes estándares de comunicación mencionados a continuación:

La tarjeta RB450 posee cinco puertos *Fast Ethernet* 10/100 Mbit/s con auto-MDI/X, un puerto serial DB9 RS232C asincrónico.

La tarjeta RB4UAHR posee un puerto miniPCI regular, un puerto miniPCIe con conexión a un módem 3G celular el cual funciona en conjunto con un puerto para tarjeta SIM, también posee un

puerto de conexión *Ethernet*, un puerto serial DB9 RS232C asincrónico, conexión USB 2.0 y un módulo inalámbrico AR2417 con estándar 802.11b/g para comunicación *Wifi*.

El EA tiene la capacidad de comunicarse con otros dispositivos y redes utilizando todos los protocolos basados en las tecnologías presentes en sus tarjetas de comunicación; soporta todos los protocolos basados en *Ethernet*, modelos de capas TCP/IP, comunicación serial RS-232, USB, Modbus, BACnet, etc.

6. CONCLUSIONES

Para los esquemas RD que inician en el mercado colombiano, es primordial la estandarización de los incentivos o cobros utilizados, puesto que así se evitan abusos económicos y se promueve de una forma centralizada la implementación de mencionadas metodologías.

Los esquemas RD promueven mejoras al sistema eléctrico nacional, previniendo posibles inestabilidades por falla, contingencia o saturación, con una mínima inversión estructural.

Los niveles de consecuencias definidos para el EA, deben ser acumulativos, dejando siempre para el máximo impacto las cargas menos prescindibles.

Los efectos evidenciados por la actuación del dispositivo EA, serán incrementados al introducir en un futuro la gestión de los sistemas de aires acondicionados, al ser estos las mayores cargas eléctricas que soporta una instalación convencional. Además,

dichos efectos serán repotenciados con la inclusión de fuentes de generación distribuida que atiendan las cargas manipuladas durante los eventos de RD.

A futuro el dispositivo puede ser aprovechado al máximo mediante la implementación de sistemas de medición inteligente a través de sensórica que permita verificar variables eléctricas, de despacho, demanda y condición física de las instalaciones, con el objetivo de ser monitoreado y controlado desde el centro de control de la Micro Red UPB.

La reducción de energía reflejada en la utilización del dispositivo EA fue pequeña, debido a que solo se cuenta con la manipulación de la iluminación de un piso del edificio y esta carga es la menos representativa dentro de una instalación eléctrica, pero se debe tener en cuenta que el objetivo de este dispositivo en la UPB es el de crear un laboratorio escalable que permita a futuro la integración de la demanda en la Micro Red UPB.

La modelación de un sistema de potencia ejemplo en el programa *DigSilent*, permite analizar el efecto de esquemas de desconexión de demanda sobre las redes externas a la instalación intervenida y a los equipos más sensibles de la zona, permitiendo anticipar posible problemas o mejoras introducidas por estas tecnologías. A través de las simulaciones realizadas se encuentra que una desconexión súbita de grandes cantidades de carga puede llegar a afectar las tensiones en nodos cercanos a la instalación del usuario final, afectando así los estándares de calidad de la potencia. Con este mismo lineamiento, es necesario tener presentes las cargas a

desconectar, pues estas pueden ocasionar un desbalance de circuitos en la instalación, afectando también dichos estándares de calidad.

El modelo de la actuación del dispositivo EA en *Simulink*, permite observar los efectos de la reducción de demanda en la instalación para encontrar los elementos desconectables más estratégicos a usar en el dispositivo físico, esto sin tener que actuar sobre la instalación eléctrica real y así evitar interrupciones indebidas de los procesos asociados a las cargas eléctricas.

Se confirma que el dispositivo EA utiliza los estándares de comunicaciones más usados a nivel mundial para sistemas que intervienen en eventos de gestión de demanda, facilitando su integración con Micro Redes inteligentes y sistemas paralelos de control y automatización de edificios.

El dispositivo EA presenta la posibilidad de actualizar los protocolos y tecnologías de comunicación utilizadas para adaptarse a los requerimientos de infraestructuras de medición inteligente, control y supervisión.

Además, el dispositivo EA cuenta con el uso de protocolos de comunicación reconocidos internacionalmente por los distintos fabricantes de dispositivos electrónicos.

El dispositivo EA presenta la capacidad de realizar funciones iguales que un sistema de domótica e inmótica para el ahorro de energía. Es de anotar, que el desarrollo del dispositivo EA fue pensado con un enfoque hacia la gestión de las redes eléctricas de

grandes ciudades, y no en el ahorro de los usuarios finales por lo que su integración con sistemas automatizadores es un valor agregado y no su principal función.

REFERENCIAS

- Athay, T., Podmore, R., & Virmani, S. (1979). A Practical Method for the Direct Analysis of Transient Stability. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-98*(2), 573–584. <http://doi.org/10.1109/TPAS.1979.319407>
- Charles River Associates. (2005). *Primer on Demand-Side Management. Prepared for The World Bank*. Oakland, CA.
- DIgSILENT GmbH. (2011). DIgSilent PowerFactory. Gomaringen, Germany: DIgSILENT GmbH. Retrieved from <http://www.digsilent.de/>
- Indian Power Market. (2013). Demand response in Indian Power Market. Retrieved from <http://www.indianpowermarket.com/2013/07/demand-response-in-indian-power-market.html>
- MathWorks. (2012). MatLab. Natick, Massachusetts, U.S.A: MathWorks. Retrieved from <http://www.mathworks.com/products/matlab/>
- Pai, M. A. (1989). *Energy Function Analysis for Power System Stability*. Boston/Dordrecht/London: Kluwer Academic Publishers. Retrieved from http://books.google.com.co/books?id=iCQHpN0oND0C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- US Department of Energy. (2006). *Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving Them - A Report to the United States Congress Pursuant to Section 1252 of the Energy Policy Act of 2005*. Washington D.C.

AUTORES



Santiago GÓMEZ RESTREPO, Medellín, Colombia; Egresado próximo a graduarse del programa Ingeniería Electrónica y Eléctrica en la *Universidad Pontificia Bolivariana*, Bachiller egresado del colegio *Universidad pontificia bolivariana* (2007), Estudiante nivel X de inglés (UPB), (2009), Estudiante de nivel V Portugués (UPB, 2014), Auxiliar de ingeniería en el área de estudios eléctricos para la compañía *HMV Ingenieros Ltda.* (2015).



Pablo PENAGOS OCAMPO, Medellín, Colombia; Egresado próximo a graduarse del programa Ingeniería Electrónica y Eléctrica en la *Universidad Pontificia Bolivariana*, Bachiller egresado del colegio *Instituto San Carlos de la Salle* (2007), Estudiante de conversación de inglés (UPB, 2008), Estudiante de nivel Oberstufe de Alemán (UPB, 2011), Estudiante de nivel Premier Élémentaire de Francés (UPB, 2012), Estudiante de nivel V Portugués (UPB, 2014), Auxiliar de ingeniería en el área de estudios eléctricos para la compañía *HMV Ingenieros Ltda.* (2015).



Gabriel LÓPEZ JIMÉNEZ, Medellín, Colombia; Ingeniero Electricista, MSc y PhD. de la *Universidad Pontificia Bolivariana*, donde es profesor titular de tiempo completo e investigador en la *Facultad de IEE*. Laboró en la empresa *Unión Eléctrica*. Realizó estancia investigativa en *XM S.A. E.S.P.* Investigador invitado en la *Univ. Kempten*. (2015).