

INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES (SOLAR FOTOVOLTAICA) EN CAMPUS UPB LAURELES-MICRO RED INTELIGENTE

Gabriel J. López^{*†}, Idi A. Isaac^{*}, Jorge W. González^{*}, Hugo A. Cardona^{*}

^{}Universidad Pontificia Bolivariana, Cir. 1 #70-01, of. 11-259, Medellín, Colombia.*

Recibido 5 Septiembre 2014; aceptado 5 Diciembre 2014
Disponible en línea: 19 Diciembre 2014

Resumen: En este artículo se pretende mostrar el desempeño de dos sistemas solares fotovoltaicos instalados en el Campus de la Universidad Pontificia Bolivariana, UPB, como subsistemas del proyecto Micro Red inteligente UPB. Se muestran las medidas de radiación solar, temperatura y velocidad del viento arrojadas por tres estaciones meteorológicas en tiempo real, y se presenta la energía generada por los generadores solares desde el momento de su instalación.

Palabras clave: Microinversores, Micro Red, red inteligente, radiación solar, estación meteorológica.

INTEGRATING RENEWABLE ENERGY (SOLAR PHOTOVOLTAIC) INTO UPB CAMPUS- MICRO SMART GRID

Abstract: This paper is intended to show the performance of two solar photovoltaic systems installed in the Campus of the Universidad Pontificia Bolivariana, UPB, as subsystems UPB Micro Smart Grid project. Three meteorological stations are monitoring in real time the solar radiation, temperature and wind speed and the energy generated by the solar generators from the time of installation is presented.

Keywords: Micro-inverter, micro Grid, smart Grid, solar radiation, meteorological stations.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente existe una marcada preocupación mundial por los temas ambientales y el aseguramiento energético de los países. Estas dos problemáticas, han motivado a los gobiernos y entes privados a analizar las posibilidades de la implementación de diferentes modelos de sistemas eléctricos, que sujetos a estas dos condiciones, garanticen el desarrollo sostenible y un aprovechamiento más eficiente de los recursos naturales. En este sentido a finales de los años noventa, instituciones interesadas en abordar esta

problemática como el CIGRÉ (Conseil International Des Grands Réseaux Électriques) y el CIRED (Congrès International Des Réseaux Électriques de Distribution), se encontraban en la planeación de sistemas para la generación distribuida de energía eléctrica, obteniendo avances importantes ([Chowdhury et al., 2009](#)).

Estos avances en materia eléctrica, sumados a otros tantos en materia de telecomunicaciones e informática, desembocaron en el concepto de Smart Grid o red inteligente. Este concepto consiste en el uso de sensores, comunicaciones,

[†] Autor al que se le dirige la correspondencia:
Tel. (+574) 4488388 ext 14130, fax 4118779.
E-mail: gabriel.lopez@upb.edu.co (Gabriel López).

capacidades computacionales y control para mejorar el funcionamiento del sistema eléctrico a partir de la optimización del uso de la generación, almacenamiento, transmisión, distribución, generación distribuida y uso final de la energía eléctrica. Lo anterior con el fin de asegurar la confiabilidad, minimizar el uso de energía, mitigar los impactos ambientales y lograr una gestión óptima de los recursos ([Gellings, 2009](#)).

Particularmente en Colombia, en el año 2014 fue sancionada una ley que fomenta el uso de las energías renovables, algo de alta importancia para el ámbito nacional, impulsando así el desarrollo de la energía solar como medio de generación viable tanto ecológica como económicamente. La Ley 1715 “Por medio del cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional” ([Congreso de Colombia, 2014](#)).

Por su parte, la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), se encuentra implementando una Micro Red inteligente ([El Mundo, 2014](#)), que básicamente reúne todo lo que tiene una red inteligente pero en una escala mucho menor ([Chowdhury et al., 2009](#)), teniendo en cuenta que la Micro Red posee la capacidad de operar aislada del sistema eléctrico de suministro ([Lidula N.W.A. y Rajapakse A.D. 2011](#)). Bajo ese concepto se están implementando desde el 2013 varios subsistemas dentro del campus UPB, sede Medellín, entre estos se encuentran: tres sistemas de generación SFV, un biodigestor anaerobio, un sendero con nueve luminarias LED, un vehículo eléctrico y otro de rango extendido y un sistema de gestión de la demanda. Todo lo anterior monitoreado desde un centro de control ubicado en las mismas instalaciones de la universidad ([Micro Red inteligente UPB, 2014](#)).

El presente artículo pretende mostrar de manera muy general el desempeño de los Sistemas Solares Fotovoltaicos (SFV) y de las estaciones meteorológicas instaladas.

En la sección 2, se presenta el comportamiento de las variables extraídas de dos estaciones meteorológicas con el propósito de verificar la disponibilidad del recurso solar y eólico presente en el campus. En la sección 3, se muestra el desempeño de tres generadores SFV durante un año de monitoreo, la cantidad de energía generada

y lo que esto representa en ahorro energético para la universidad.

2. ESTACIÓN METEOROLÓGICA

2.1. Ubicada en la terraza del bloque 10

Antes de diseñar un sistema de generación empleando Energías Renovables No Convencionales (ERNC), se debe hacer una evaluación del recurso de la zona (velocidad del viento, temperatura, radiación solar, etc), para lo cual es necesario instalar un sistema de monitoreo en tiempo real que permita su caracterización y posterior cuantificación. Este es precisamente el propósito que tuvo la instalación de la estación meteorológica, ver [Fig. 1](#), la cual está instalada desde el 11 de Noviembre de 2013.

El sistema permite hacer el monitoreo a través de tres protocolos de comunicación, WIFI, Ethernet y GPRS.

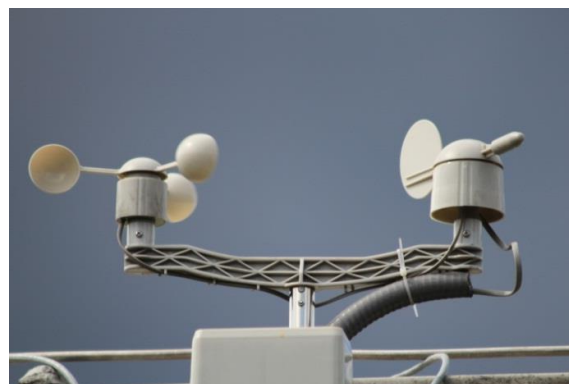


Fig. 1. Estación meteorológica instalada en la terraza del bloque 10.

Velocidad del viento. Las siguientes figuras muestran las curvas de velocidad del viento medidas sobre la terraza del bloque 10 (ver [Fig. 2](#) y [Fig. 3](#)), se aprecian valores máximos de 3,5 m/s y valores promedio cerca de los 2 m/s. Se destaca la baja velocidad del viento registrada, que podría no alcanzar a ser suficiente para generar energía, inclusive empleando un generador eólico de baja velocidad. En esta fase de investigación se integrará y probará el generador eólico patentado entre UPB y Ecopetrol ([Caracol, 2013](#)). Se estima para el 2015.

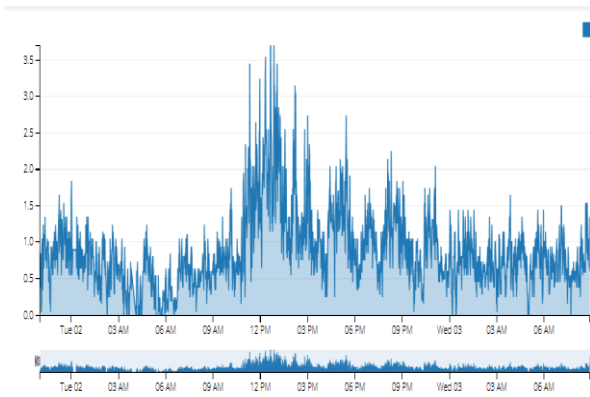


Fig. 1. Registro de la velocidad máxima de viento.

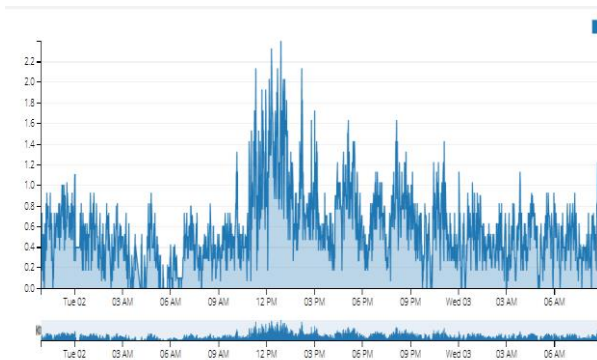


Fig. 2. Registro de la velocidad promedio de viento.

Temperatura ambiente. Una de las variables a tener en cuenta para el diseño de un sistema de generación de energía empleando sistemas solares, es la temperatura que incide directamente sobre el panel solar, los diseños estándar manejan valores entre 20 y 25°C (Chen, Li, et al, 2012). En la Fig. 4 se aprecia el valor promedio registrado durante un día, se observa una variación entre 20 °C y 30 °C aproximadamente.



Fig. 3. Registro de temperatura ambiente.

Radiación solar. La Fig. 5 muestra el comportamiento típico de la radiación solar de un día no muy soleado, se aprecia un valor máximo de 800 W/m², que a pesar de ser un poco menor al promedio que se ha logrado registrar (se han detectado valores cercanos a los 1200 W/m²), sigue siendo aceptable para la generación de energía usando celdas SFV. Estas se diseñan para operar en condiciones estándar (STC del inglés *Standard Test Conditions*) de 1000 W/m² a 25 °C (Herbort, V et al., 2012).

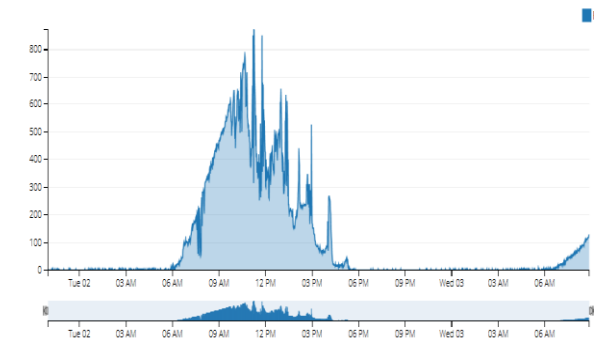


Fig. 4. Registro de radiación solar.

2.2. Ubicada sobre los paneles de las entradas peatonal y vehicular de la circular primera

Con el objetivo de evaluar el desempeño de los sistemas solares ubicados sobre los techos de las entradas peatonal y vehicular de la circular primera, se dispusieron dos estaciones meteorológicas para medir la radiación y temperatura directa sobre los paneles (ver Fig. 6).



Fig. 5. Estaciones meteorológicas ubicadas sobre los paneles de las entradas peatonal y vehicular de la circular primera.

Radiación solar. La Fig. 7 muestra la tendencia de la radiación solar sobre el techo de la entrada peatonal durante un día no muy soleado, sin

embargo al igual que en el caso anterior, se aprecian valores inclusive superiores a los 800 W/m².

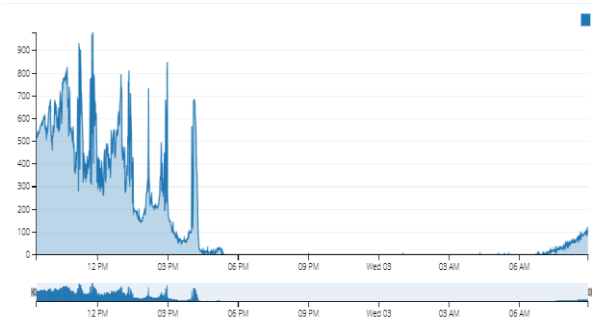


Fig. 6. Registro de radiación solar sobre los paneles de la entrada peatonal.

Temperatura medida en los paneles. La Fig. 8 muestra la tendencia de la temperatura ambiente afectada directamente sobre los paneles de la entrada peatonal durante el mismo día, en este caso se observan valores de temperatura bastante elevados, alcanzando en algunos casos los 50 °C.



Fig. 7. Registro de temperatura sobre los paneles de la entrada peatonal.

3. GENERADORES SOLARES

3.1. Generación de energía sistema solar con Microinversores (terracea del Juan Pablo Segundo-Bloque 10)

La Fig. 9 ilustra el sistema de generación solar fotovoltaica que emplea Microinversores para su conexión a la red eléctrica (Chun-Yu et al., 2012). Las características y el desempeño del sistema se muestran en la Tabla 1 y la Tabla 2 respectivamente.



Fig. 8. Sistema de generación SFV bloque 10.

Tabla 1. Características de los paneles SFV.

Características técnicas	
Peso	18,5 kg
Dimensiones	1,65x0,99x0,04m
Cantidad	20
Tipo	Silicio Policristalino
Marca	Yingli
Potencia por panel	245 Wp
Potencia instalada	5 kWp
Tecnología para conexión a la red	Microinversores
Socio estratégico	HYBRYTEC

Tabla 2. Desempeño del sistema

Desempeño al 15 de Noviembre de 2014	
Fecha de instalación	12/10/2013
Inicio de monitoreo	27/11/2013
Energía producida (año)	6 MWh
Compensación de CO ₂	4,13 toneladas
Funcionalidad	Alimenta iluminación y tomas de uso general de los pisos 3 y 4 del bloque 10.

En la Fig. 10 se ilustra el arreglo SFV y la energía generada por cada uno de los paneles, se aprecian algunas diferencias debido a la proyección de las sombras sobre estos durante el año de monitoreo.

La energía que ha generado el sistema durante el año de instalación, se puede emplear para alimentar entre 3-4 familias de 4 personas cada una (Portafolio, 2014).

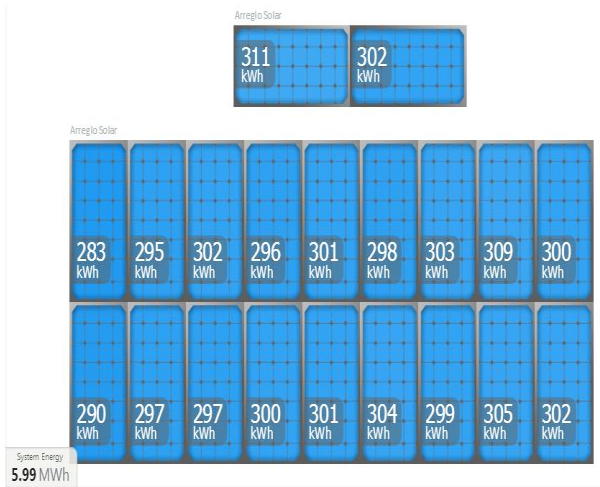


Fig. 9. Arreglo del sistema SFV y energía generada por panel (plataforma Enphase).

La Fig. 11 muestra la tendencia de la energía generada desde el 27 de Noviembre de 2013, se aprecia una mayor producción de energía en los meses de Agosto, Septiembre y Octubre de 2014.

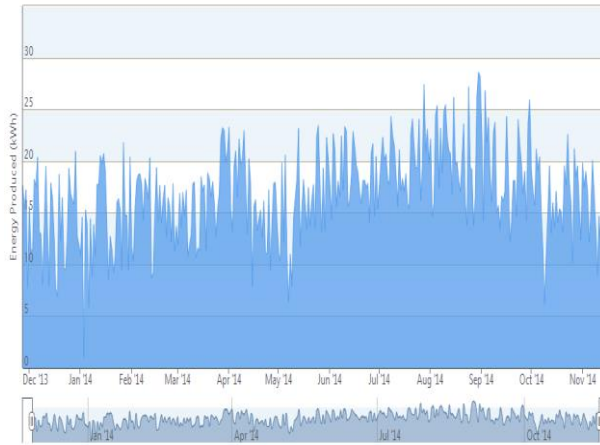


Fig. 10. Tendencia de la energía generada por el sistema. (plataforma Enphase)

3.2. Generación de energía sistema solar con Inversor central (techos entradas peatonal y vehicular circular primera)

En la Fig. 12 se presentan los sistemas SFV instalados sobre los techos de las entradas peatonal y vehicular de la circular primera. Las características y el desempeño del sistema se muestran en la Tabla 3 y la Tabla 4 respectivamente.



Fig. 12. Sistemas SFV techos entradas peatonal (arriba) y vehicular.

Tabla 3. Características de los paneles SFV.

Características técnicas	
Peso	18,5 kg
Dimensiones	1,65x0,99x0,04m
Cantidad en ambas entradas	104 (52 c/u)
Tipo	Silicio Policristalino
Marca	Yingli
Potencia por panel	245 Wp
Potencia instalada	25 kWp (12,5 kWp c/u)
Tecnología para conexión a la red	Inversor Central
Socio estratégico	HYBRYTEC

Tabla 4. Desempeño del sistema

Desempeño al 15 de Noviembre de 2014	
Fecha de instalación	3-4/04/2014
Inicio de monitoreo	22/05/2014
Energía producida (6 meses)	12,27 MWh
Compensación de CO ₂	3,36 toneladas
Funcionalidad	Alimenta aproximadamente el 50% de la iluminación del parqueadero.

La Fig. 13 muestra la energía mes a mes generada por cada uno de los sistemas, se aprecia que el mes de agosto fue el de mayor generación en ambas porterías.

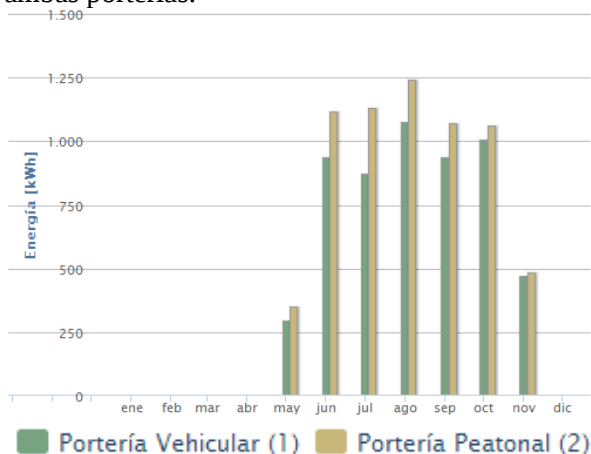


Fig. 13. Energía generada mes a mes por los sistemas SFV techos entradas peatonal y vehicular (plataforma Fronius).

La Fig. 14 muestra la energía total generada por ambas porterías, esta alcanza casi los 13 MWh desde mayo del presente año. La energía que ha generado el sistema durante 6 meses, se puede emplear para alimentar entre 7-8 familias de 4 personas cada una.

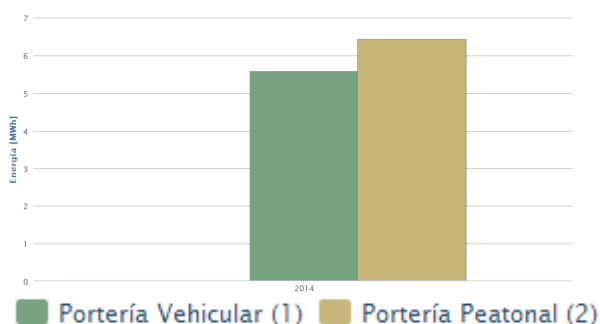


Fig. 14. Energía total generada por ambos sistemas SFV. (plataforma Fronius)

La Fig. 15 muestra el ahorro de emisiones de CO₂ que se han dejado de generar desde mayo de 2014. Haciendo una analogía con un vehículo convencional de combustión, este genera por km recorrido aproximadamente 200 gCO₂ (Ministry of transport. New Zeland Government. January to March Quarter, 2014), esto indica que el ahorro de emisiones durante los seis meses logradas con el sistema SFV, equivale a dejar de mover alrededor de 550 vehículos de combustión en un recorrido de 50 km cada uno.

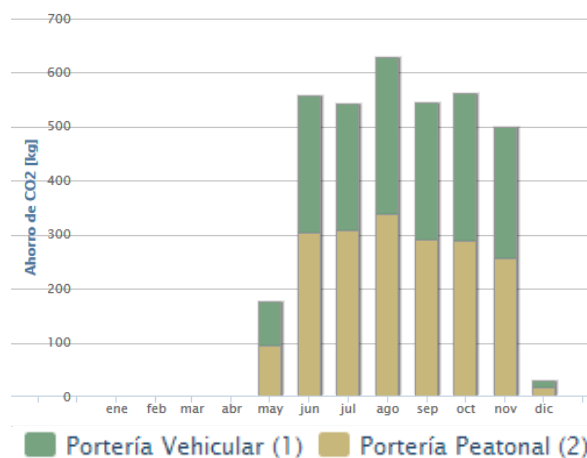


Fig. 15. Ahorro de CO₂ dejado de emitir por ambos sistemas SFV. (plataforma Fronius)

Haciendo una proyección de la energía anual que se estaría generando con los dos tipos de sistemas SFV (30 kWp instalados), asumiendo condiciones similares en cuanto a la radiación solar del año 2014, se tendría un estimado cercano a los 31.000 kWh año. Este valor representa aproximadamente un 1% de la energía generada en 2013 (ver Fig. 16), y un ahorro entre 8 y 10 millones de pesos anuales.

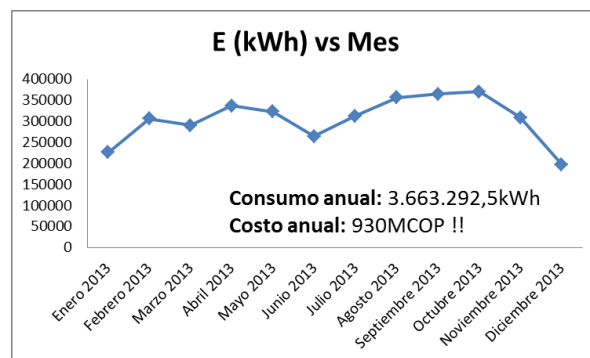


Fig. 16. Consumo anual de energía en el campus UPB Medellín en 2013.

Tomando como base una inversión inicial de ambos sistemas cercana a los \$150.000.000 (WEC, 2013), se concluye que esta se estaría recuperando en aproximadamente 15 años. Hay que tener presente que las condiciones de radiación solar en Medellín no son las más óptimas para la instalación de un sistema SFV, en lugares con niveles de radiación superiores, por encima de los 1000 W/m², la recuperación de la inversión se haría de una forma mucho más rápida, inclusive reduciéndose a la mitad.

4. CONCLUSIONES

Es claro que el primer paso a seguir en la implementación de un sistema SFV debe ser la evaluación del recurso, esto se logra con un monitoreo *in situ* en tiempo real del recurso solar, como radiación y temperatura. El desempeño mostrado por la estación meteorológica ha sido satisfactorio, ha permitido recolectar gran cantidad de información además que se han logrado evaluar tres protocolos de comunicación tales como Wifi, Ethernet y GPRS.

Se espera que el proyecto Micro Red UPB se convierta en un referente nacional para la implementación de sistemas de este tipo, que se logre un escalamiento de tal forma que permita ofrecer soluciones particulares que integren varios de los componentes de la Micro Red a posibles clientes, según sus necesidades: el gobierno (a través de zonas no interconectadas, estaciones militares, de telecomunicaciones), complejos turísticos, empresas cogeneradoras o autogeneradoras del sector minero energético (petroleras, gasíferas, mina, etc.), e incluso conglomerados humanos urbanos como centros comerciales, unidades residenciales, industrias, universidades, colegios, hospitales, entre otros.

AGRADECIMIENTO

Se agradece a los socios estratégicos por su valioso apoyo en la implementación de los subsistemas presentados; a NETUX por las estaciones meteorológicas y a HYBRYTEC por los sistemas SFV.

REFERENCIAS

Chen, S., Li, P., Brady, D., & Lehman, B. (2012). Determining the optimum grid-connected photovoltaic inverter size. Boston.

Chowdhury S, Chowdhury SP, Crossley P (2009). Microgrids and active distribution networks, IET renewable energy series 6. London: IET.

Chun-Yu Yang, Yu-Chen Chang, Chia-Hsing Li, Shih-Jen Cheng, Qi-Ming Huang, Ching-Chun Chuang; Huang-Jen Chiu; Yu-Kang Lo, Min-Chien Kuo, Yi-Ming Huang, Yuan-Bor Jean, Yung-Cheng Huang (2012). Module-integrated isolated solar micro-inverter. Industrial Informatics (INDIN), 10th IEEE International Conference on.

Congreso de Colombia. (2014). Ley 1715 de 2014. Bogotá.

Ecopetrol y la UPB reciben la patente por generador de energía eólica. (2013). En línea en [\[http://www.caracol.com.co/noticias/actualidad/ecopetrol-y-la-upb-reciben-la-patente-por-generador-de-energia-eolica/20130618/nota/1917784.aspx\]](http://www.caracol.com.co/noticias/actualidad/ecopetrol-y-la-upb-reciben-la-patente-por-generador-de-energia-eolica/20130618/nota/1917784.aspx), consultado en 2014-12-15.

Gellings, C. (2009). The Smart Grid, Enabling Energy Efficiency and Demand Response. The Fairmont Press.

Herbort, V. von Schwerin, R. Compton, B. Brecht, L. te Heesen, H. (2012). Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 38th IEEE.

La UPB se proyecta como una pequeña ciudad inteligente (2014). En línea en [\[http://www.elmundo.com/portal/noticias/territorio/la_upb_se_proyecta_como_una_pequena_ciudad_inteligente.php#.VJCHelUG-Pt\]](http://www.elmundo.com/portal/noticias/territorio/la_upb_se_proyecta_como_una_pequena_ciudad_inteligente.php#.VJCHelUG-Pt) (Grupo TyD-UPB, s.f.)

Lidula N.W.A. and Rajapakse A.D. (2011) Microgrids research: A review of experimental microgrids and test systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, **15**, (1), 186-202.

Micro Red inteligente UPB. En línea en [\[http://microred.upb.edu.co/\]](http://microred.upb.edu.co/). Consultado en 2014-12-16.

Ministry of transport. New Zeland Government. January to March Quarter (2014). Quarterly Vehicle Fleet Statistics.

Portafolio (2014). , En línea en [\[http://www.portafolio.co/opinion/paz-energia-economia-opinion\]](http://www.portafolio.co/opinion/paz-energia-economia-opinion). Consultado en 2014-12-17.

World Energy Council (2013). World Energy Perspective Cost of Energy Technologies. Project Partner: Bloomberg New Energy Finance.

SOBRE LOS AUTORES

Gabriel J. López

Ingeniero Electricista, MSc.y PhD. de la UPB, Colombia, 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

Idi A. Isaac

Ingeniero Electricista, MSc.y PhD. de la UPB, Colombia, donde es Profesor Titular de tiempo completo e Investigador en la Facultad de IEE. Realizó estancia investigativa en Interconexión Eléctrica S.A. Investigador invitado en la Univ. Kempten, Alemania y Univ. Comillas, España.

Jorge Wilson González

Ingeniero Electricista de la Univ. Nacional y MSc - PhD. de la Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia, donde es Profesor Titular de tiempo completo e Investigador. Laboró en HNV Ingenieros y en Siemens, Erlangen en PTD (FACTS y HVDC). Investigador invitado en la Univ. Kempten, Alemania y en el Power Systems Institute en Erlangen Univ. Alemania en el 2005.

Hugo Alberto Cardona

Ingeniero Electricista y Magíster en Ingeniería Área Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín. Actualmente es el director de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Pontificia Bolivariana. Realizó estancia investigativa en XM S.A. E.S.P. Es miembro activo del Grupo de Investigación Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica (TyD).