

ESQUEMA DE INCORPORACIÓN DE LAS SMART GRIDS EN EL SISTEMA DE POTENCIA COLOMBIANO

D. F. Díaz ^{*}, J. W. González ^{*†}, H. A. Restrepo, ^{*} I. A. Isaac, ^{*} y G. J. López ^{*}

**Universidad Pontificia Bolivariana, Cir. 1 #70-01, Medellín, Colombia.*

Recibido 03 Marzo 2011; aceptado 10 Junio 2011
Disponible en línea: 27 Junio 2011

Resumen: Las Smart Grids son los sistemas de potencia del futuro, éstas permiten hacer partícipes a todos los agentes relacionados con la energía eléctrica de forma eficiente, obteniendo el mayor provecho de los recursos energéticos disponibles. En este trabajo se presenta un esquema de incorporación de las Smart Grids en Colombia, donde se exponen sus principales componentes y herramientas aplicables para el país. *Copyright © 2011 UPB.*

Palabras clave: Redes Inteligentes, Energía Renovable, Sistema de Potencia, Vehículo eléctrico.

Abstract: The Smart Grids are the power systems of the future, this technology will allow put together to all the participants and agents related to electrical energy in a efficiently way to obtain a big benefit of the available energy resources . This paper presents an incorporation scheme of these networks in Colombia, with the main components and tools.

Keywords: Smart Grids, renewable energy, power system, electric vehicle

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la demanda energética en forma acelerada en los últimos años, seguido de nuevos desafíos para los sistemas de potencia como la incorporación de los vehículos eléctricos y las energías renovables, han abierto las puertas para nuevas herramientas como las Smart Grids (redes inteligentes en español), estas redes agrupan de manera inteligente los generadores de electricidad, los consumidores y los que son ambas cosas a la vez ([Potter, 2010](#)).

Muchos países han comenzado a desarrollar Smart Grids para dotar de inteligencia sus redes y lograr satisfacer la demanda energética creciente, pero reduciendo cada vez más el impacto al medio ambiente por medio de energías renovables ([Hledik, 2009](#)). ([Ver Fig 1](#)).

En este trabajo se propone un esquema de incorporación de las Smart Grids en Colombia, considerando las ventajas que éstas han tenido en otros países pioneros en estos desarrollos ([Nirmal, 2009](#)), también se consideran las ventajas de las Smart Grids en pro de los vehículos eléctricos, y como ambas herramientas se benefician mutuamente. La incorporación de las energías verdes es analizada, ya que para lograr usar estos recursos con buena participación en el sistema, es necesario que se desarrollen algunas ventajas de las Smart Grids, porque muchas de las energías verdes son en forma intermitente, y no se ajustan al comportamiento de la demanda. También se presenta un análisis de los principales elementos y herramientas tecnológicas de las redes inteligentes que serían aplicables en el futuro para el país, con beneficios

[†] Autor al que se dirige la correspondencia:
Tel. (+574) 354 45 22 ext. 9586.
E-mail: jorgew.gonzalez@upb.edu.co (Jorge González).

en la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.



Fig. 1 Smart Grids en el mundo. [En línea] < http://www.n-economia.com/presentaciones/pdf/mduran_jun10.pdf > [Consulta: 25 Ene. 2011].

2 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Los vehículos de combustión interna son responsables de muchos problemas ambientales, mientras que los vehículos eléctricos no tienen emisiones de CO₂ y en pocos años serán mucho más asequibles para las personas, sin embargo, la utilización de éstos lleva consigo un gran crecimiento de la demanda energética. Las Smart Grids permiten un control y monitoreo constante de la demanda, promoviendo el aplanamiento de la curva de demanda, con grandes beneficios para el sistema de potencia, permitiendo así que la reserva activa disponible para responder a los picos de demanda sea utilizada para la recarga de los vehículos.

Las Smart Grids permiten utilizar las baterías de los vehículos como medios de almacenamiento, permitiendo que éstas sirvan como respaldo ante la interrupción del suministro energético. También, permiten el desarrollo “vehicle to grid” (V2G), en el cual la red alimenta el vehículo cuando éste se encuentre descargado, de igual manera el vehículo puede entregar energía a la red cuando ésta lo necesite, por ejemplo durante las horas pico. (Ver Fig 2).

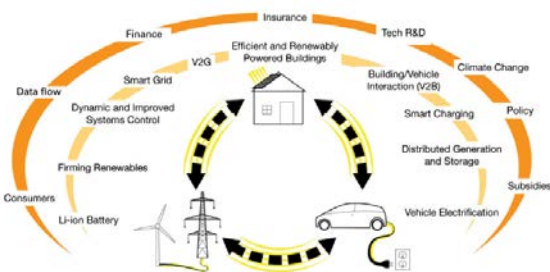


Fig. 2. Sistema Smart Grid. [En línea] < <http://move.rmi.org/move-news/what-is-the-smart-garage.html> > [consulta 28 Ene 2011].

3. APOORTE DE LAS SMART GRID EN EL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES

Las fuentes renovables de energía de alta aplicabilidad en el país, como la generación solar y eólica son de características intermitentes. Por razones como éstas, los Smart Meters y los métodos de almacenamiento de energía son partícipes en las redes inteligentes (Vojdani, 2010), principalmente por permitirle a los generadores eólicos y solares seguir conectados a la red, aunque la demanda sea poca, almacenando así la energía para los momentos de mayor consumo. Las redes inteligentes utilizarían métodos de almacenamiento como por ejemplo, hidroelectricidad bombeada, donde en las horas valle se bombea agua hasta un lugar a mayor altura, de manera que ésta se descargue a un generador durante las horas pico.

El aporte de las redes inteligentes con las energías renovables consiste en permitirles a estas energías participar a gran escala en la generación de electricidad, porque con las condiciones actuales es difícil que estos métodos reemplacen a los actuales basados en carbón y gas (Battaglini, 2009). Algunos métodos de almacenamiento que las Smart grids proponen son: baterías, almacenamiento con aire comprimido, volantes de inercia, supercondensadores y métodos de almacenamiento de energía solar.

Un ejemplo de energía solar termoeléctrica es el almacenamiento de la energía solar, donde se funden sales por medio de una torre recolectora de calor; permitiendo así generar energía cuando el sol se haya ocultado. (Ver Fig 3).



Fig. 3. Energía solar termoeléctrica [En línea] < <http://energiadoblezero.com/energias-renovables/energia-solar-termoelectrica> > [consulta 28 Ene 2011].

4. VENTAJAS Y APLICACIONES DE LOS ELEMENTOS TECNOLÓGICOS DE LAS SMART GRIDS

Las Smart Grids utilizan elementos tecnológicos que permiten desarrollar las ventajas que éstas proponen. En el país se ha comenzado con la incorporación de algunos de estos desarrollos, como los PMUs instalados actualmente en el sistema de potencia, los cuales permiten adquirir práctica en el manejo de fasores para medición sincronizada, para que cuando se decida desarrollar a gran escala estas tecnologías se tenga buena experiencia. Existen también proyectos futuros, como el sistema de transmisión en corriente directa, HVdc para la interconexión Colombia-Panamá. El HVdc es óptimo para la transmisión de potencia a largas distancias, porque la transmisión en corriente alterna se ve limitada, por ejemplo por las grandes distancias, retos en conexiones con cables aislados y pérdidas por calentamientos.

Otros elementos altamente importantes para las Smart Grids son los FACTS, electrodomésticos inteligentes, Smart Meters, redes de área doméstica y protocolos de comunicaciones ([Santacana, 2010](#)). (Ver Fig 4).



Fig. 4. Red de área doméstica. [En línea] < http://www.research.att.com/articles/featured_stories/2010_01/201002_techview_smartgrid.html > [consulta 3 Abr 2011].

5. PROPUESTA DE DIAGRAMAS SMART GRID

En este trabajo, el esquema de las Smart Grids para Colombia se realizó considerando las ventajas que estas redes desarrollan para el sistema de potencia. El esquema está formado por pequeños sistemas de potencia, conectados a la

vez con uno mayor que interconecta todo el país. ([Ver Fig 5](#)).



Fig. 5: Esquema de las Smart Grids en Colombia.

En el esquema propuesto se contempla el flujo de potencia bidireccional, ya que cambia la configuración actual de pocos generadores, a un sistema de potencia donde los usuarios en los hogares pueden ser consumidores y generadores de electricidad, incluso entregar la energía excedente al sistema. ([Paget, 2006](#)).

Los recursos disponibles en Colombia, para la generación con energías verdes, varían en cada región de acuerdo con las condiciones geográficas (Ver [Tabla 1](#) y [2](#)).

Tabla. 1. Potencial solar en Colombia. [En línea] < www.upme.gov.co/Docs/Plan_Exp_Refer2008_2022.pdf > [Consulta: 20 Sep. 2010].

REGIÓN	kWh/m ² /año
Guajira	2.190
Costa Atlántica	1.825
Orinoquia	1.643
Amazonía	1.551
Andina	1.643
Costa Pacífica	1.278

Tabla. 2. Potencial eólico en Colombia. [En línea www.upme.gov.co/Docs/Plan_Exp_Refer_2008_2022.pdf][Consulta: 20 Sep. 2010]

RANGO VIENTOS	SITIO	DEPARTAMENTO
5 m/s o más persistentes en el año	Galerazamba	La Guajira
	Gacheneca	Boyacá
	San Andrés isla	San Andrés en mar Caribe
De 4 a 5 m/s persistentes en el año	La Legiosa	Huila
	Isla de providencia	San Andrés en mar Caribe
	Riohacha	La Guajira
Persistentes en ciertas épocas del año y a ciertas horas	Villa Carmen	Boyacá
	Obonuco	Nariño
	Cúcuta	Norte de Santander
	Ábrego	Norte de Santander
	Urrao	Antioquia
	Soledad	Atlántico
	Santa Marta	Magdalena
	Bucaramanga	Santander
	Achique	Tolima
	Bogotá	Cundinamarca

En el esquema de incorporación de la [Fig. 5](#), se proponen por ejemplo, nuevos parques de generación eólica y solar en la Guajira. Para la zona de Antioquia se consideró la generación hidráulica, así como el potencial de generación solar en los hogares, por medio de paneles en los techos etc. (Ver [Fig 6](#) y [7](#)).

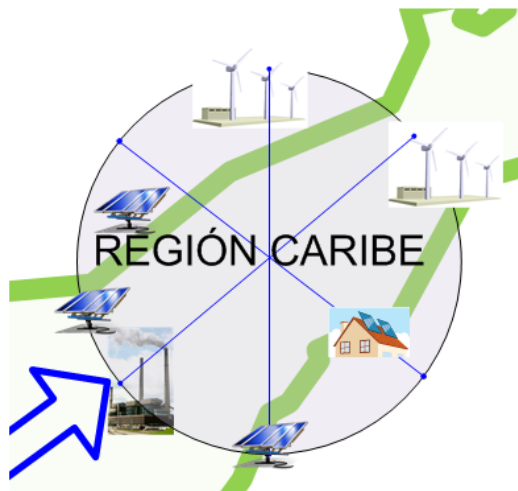


Fig. 6 Ampliación del esquema Smart Grid en la región Caribe.

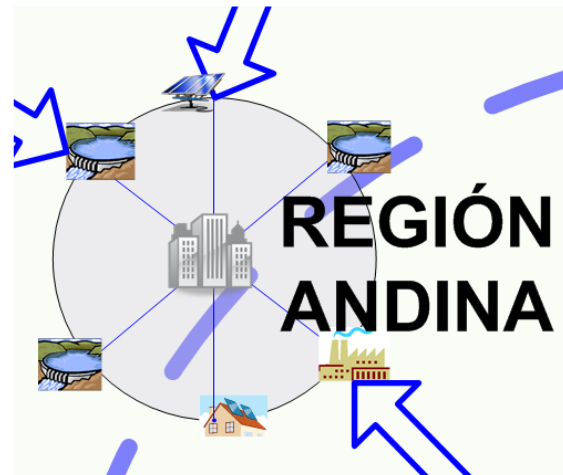


Fig. 7 Ampliación del esquema Smart Grid en la región Andina.

6. CONCLUSIONES

La aplicabilidad de las redes inteligentes en Colombia es alta, porque el país es apto para recibir los beneficios que las tecnologías de las Smart Grids incorporan. El sistema interconectado nacional cubre las regiones de alta demanda en el país, pero muchos territorios actualmente se encuentran no interconectados, siendo óptimos para la generación distribuida, donde las pequeñas poblaciones podrían generar electricidad con la ayuda de recursos renovables. Los desarrollos en otros países con redes inteligentes han sido exitosos, mostrando la aplicabilidad a gran escala en Colombia, donde ya se están realizando estudios con diferentes dispositivos, como los PMUs instalados en el sistema, la generación eólica, y proyectos futuros como la interconexión con Panamá en HVdc.

Muchos de los instrumentos utilizados por las redes inteligentes son de naturaleza “modular”, evitando la construcción de grandes proyectos, por ejemplo la generación eólica y solar se puede realizar en diferentes sectores y a pequeña escala, desarrollando en conjunto gran potencia en forma dispersa. La generación distribuida es otra herramienta de carácter “modular”, la cual se puede ir desarrollando en pequeñas regiones, con la ventaja de instalarse fácilmente en muchos territorios, e ir creciendo a medida que lo hace la demanda; en comparación con una central hidroeléctrica donde es difícil realizar modificaciones de la capacidad, demostrando una vez más que las Smart Grids son elementos que se utilizarán en el futuro.

Las redes inteligentes tienen la característica de adaptarse fácilmente a las instalaciones y estructuras actuales. Para el caso Colombiano éstas se acoplarían adecuadamente con el sistema interconectado nacional, complementándolo cada vez más con mejores características; las Smart Grids a diferencia de otras tecnologías, no necesitan para su incorporación reemplazar toda la infraestructura actual, porque estas redes se diseñan con la capacidad de ser compatibles con otras tecnologías que se tengan instaladas.

La infraestructura de comunicaciones es la columna vertebral de las redes inteligentes, y es de suma importancia para la incorporación de las Smart Grids en Colombia utilizar los recursos disponibles como redes de fibra óptica actuales y recurrir a métodos de conexiones inalámbricas, donde sea posible o donde se requiera por características de la población y las necesidades específicas de los usuarios.

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento muy especial al grupo de investigación de transmisión y distribución de la UPB por el apoyo y la colaboración.

REFERENCIAS

BATTAGLINI, Antonella. SCIENCE DIRECT. Development of Super Smart Grids for a more efficient utilization of electricity from renewable sources [En línea]<sciencedirect.com> [consulta: 15 Febrero. 2011].

CREG. Generación eólica en Colombia. [En línea]<http://www.creg.gov.co/html/cache/gallery/GC-1/G-6/generacion_distr_24nov2009.pdf>[consulta: 27 diciembre. 2010].

HLEDIK, Ryan. SCIENCE DIRECT. How Green Is the Smart Grid? [En línea]<sciencedirect.com> [consulta: 21 Enero. 2011].

NIRMAL, Kumar. SCIENCE DIRECT. Smart Grid:Future networks for New Zealand power systems incorporating distributed generation [En línea]<sciencedirect.com> [consulta: 10 Febrero. 2011].

PAGET, Mia. SCIENCE DIRECT. Future intelligent power grids: Analysis of the vision in the European Union and the United States [En

línea]<science direct.com> [consulta: 21 Enero. 2011].

POTTER, Cameron. IEE. Building a Smarter Smart Grid Through Better Renewable Energy Information. [En línea]<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=4840110>[consulta: 3 Ene. 2011].

SANTACANA, Enrique. IEE. Getting Smart. [En línea]<<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/>>[consulta: 5 Junio. 2010].

SCIENCE DIRECT. What can the Smart Grid do for you [En línea]<sciencedirect.com> [consulta: 11 Noviembre. 2010].

TALLER TECNOLOGÍA E IMPLEMENTACIÓN DE REDES INTELIGENTES EN EL SECTOR ELÉCTRICO COLOMBIANO, Medellín Colombia. 22, 23, 24 de Noviembre de 2010.

UNIVERSIDAD DE CHILE. HVDC. [En línea]<http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2008/elgueta_fj/sources/elgueta_fj.pdf> [consulta: 28 Noviembre. 2010].

UPME. Situación energética Colombiana. [En línea]<http://www.upme.gov.co/Docs/Plan_Expansion/2009/Plan_Expansion_2009-2023.pdf>[consulta:15 Octubre. 2010].

U.S DEPARTMENT OF ENERGY. Smart Grids Estados Unidos. [En línea]<<http://www.oe.energy.gov/DocumentsandMedia/Environmentalgroups.pdf>>[consulta:14 Octubre. 2010].

VOJDANI, Ali. IEE. Smart integration.Z[En línea]<<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/>>[consulta: 3 Enero. 2011].

SOBRE LOS AUTORES

Daniel F. Díaz

Estudiante de ingeniería Eléctrica y de ingeniería Electrónica de la Universidad Pontificia Bolivariana.

Jorge W. Gonzalez

Ingeniero Electricista de la Univ. Nacional en 1992 y MSc - PhD. en 2003 y 2006 respectivamente de la Universidad Pontificia

Bolivariana, Colombia, donde es Profesor Titular de tiempo completo e Investigador en la Facultad de IEE desde 1997. Trabajó ocho años para HVM Ingenieros. Ha trabajado para Siemens, Erlangen en la sección PTD (FACTS y HVDC). Es investigador invitado del Werner von Siemens laboratory en Univ. Kempten, Alemania y en el Power Systems Institute en Erlangen Univ. Alemania.

Hugo A. Cardona

Ingeniero Electricista y MSc en 1999 y 2005 respectivamente de la Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia, donde es Profesor Asociado de tiempo completo e Investigador en la Facultad de IEE desde 1999. Actualmente adelanta sus estudios de PhD en UPB con la asesoría de Univ. of Kempten, Alemania. Ha trabajado en múltiples proyectos industriales.

Idi A. Isaac

Ingeniero Electricista y MSc en 2000 y 2005 respectivamente de la Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia, donde es Profesor Asociado de tiempo completo e Investigador en la Facultad de IEE desde 2000. Actualmente adelanta sus estudios de PhD en UPB con la asesoría de Univ. of Kempten, Alemania. Ha trabajado en múltiples proyectos industriales.

Gabriel J. López

Ingeniero Electricista y MSc en 2002 y 2007 respectivamente de la Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia, donde es Profesor Asistente de medio tiempo e Investigador en la Facultad de IEE desde 2004. Trabajó para HVM Ingenieros y actualmente es Consultor en Unión Eléctrica Ltda.