

Sistema de control inteligente para la interconexión y gestión de la energía en Smart Grid.

Diego Mejía Bugallo
Universidad de Pamplona

Resumen:

En el trabajo se muestran las normativas que se tiene para el uso de las energías renovables y las técnicas de inteligencia artificial utilizadas en las redes inteligentes.

Palabras claves: Redes inteligentes, Smart grid, control inteligente, interconexión.

Desarrollo:

Con la ley 1715 de 2014, el estado colombiano promueve el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente renovables, en el sistema energético nacional (Ley N° 1715, 2014). En este contexto, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) estableció la regulación de las actividades de autogeneración a pequeña escala (AGPE) y de generación distribuida (GD) en el Sistema Interconectado a través de la resolución 030 del año 2018 (CREG No. 030, 2018). A su vez en el Ideario Energético de la UPME para el año 2050 y los ejes estratégicos y temáticos de la Iniciativa Colombiana Inteligente proyectan obtener una calidad de la electricidad con una confiabilidad acorde con las necesidades de la sociedad del siglo XXI (UPME, 2015).

Considerando esta relevancia, debemos velar por el uso eficiente de los recursos energéticos, incluyendo la electricidad, para garantizar la sostenibilidad de nuestra sociedad y el desarrollo económico de los países.

Sin embargo, el panorama actual en el departamento del Cesar es distinto: los sistemas eléctricos ya implementados son cada vez menos compatibles con las necesidades cambiantes de consumo y nuevos esquemas de producción de energía, las cuales en algunos casos son

jalonadas por las tecnologías emergentes (vehículos eléctricos, energías renovables, almacenamiento de energía, entre otros), lo cual genera oportunidades de mejorar su eficiencia.

Actualmente las redes eléctricas son unidireccionales, y cuentan con sistemas de transmisión que presentan pérdidas que rondan el 8%, mientras que el 20% del parque generador disponible se usa sólo para atender los picos de consumo, usando dicha capacidad apenas un 5% del tiempo (Farhangj, 2010), (Peter, 2015).

Asimismo, considerando que no es posible almacenar energía a bajo costo, el sistema eléctrico requiere contar con suficiente capacidad de generación para suplir los picos de consumo, capacidad que en otros horarios permanecerá ociosa (Velásquez, et al., 2007), (Villa, 2015).

Teniendo en cuenta estos aspectos, es necesario realizar estudios en el campo de generación de energía que permitan suplir la demanda de forma más eficiente, puesto que ésta se incrementa mucho más rápido que la oferta (Lui, et al., 2010), (Paterakis, 2017).

Al respecto, la adopción de tecnologías pertenecientes al campo de las Redes Eléctricas Inteligentes (Smart Grids) puede aportar a la labor de mejorar la eficiencia energética. Algunas de estas tecnologías se relacionan con los medidores inteligentes, respuesta de la demanda y generación distribuida.

Algunos autores han manifestado la importancia de comprender el comportamiento de la demanda ante la introducción de medidores inteligentes y evaluar su impacto en la curva de carga, e incluso han desarrollado modelos aplicables al caso colombiano para estimar el aplanamiento de la curva de consumo en caso de adopción de estos medidores (Castaño, 2013).

En este contexto la necesidad de optimizar de manera significativa la gestión de recursos energéticos en el futuro conlleva la investigación de sistemas empotrados de alto nivel específicos de la infraestructura eléctrica. Así mismo, surge la necesidad de investigar técnicas

avanzadas de control para la gestión de la energía eléctrica, combatir las pérdidas y detectar los eventuales problemas y evitar así el alcanzar un escenario crítico de falta de abastecimiento.

Acorde a lo anterior, el departamento del Cesar, en sintonía con las políticas nacionales, apunta en sus propuestas con metas específicas a el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS, tales como: Energía asequible y no contaminante, Industria, Innovación e Infraestructura, ciudades y Comunidades Sostenibles y Acción por el Clima (Plan de desarrollo departamental del cesar, 2016). A su vez el departamento dentro de su plan y acuerdo estratégico departamental de ciencia, tecnología e innovación se visiona mejorando la calidad de vida de sus habitantes y aumentando su competitividad territorial a través del uso de la Ciencia, Tecnología e Innovación, aplicada en los focos de: Medio Ambiente – Biodiversidad, Turismo, Salud, Minero – Energético, Agropecuario – Agroindustrial y Educación (PAED - Departamento del Cesar, 2015), priorizando los focos de energía y minería.

Teniendo en cuenta que el departamento cuenta con gran potencial y viabilidad para la implementación de estos sistemas, se detecta una oportunidad de crecimiento en ciencia, tecnología e innovación (CTel), en el foco de Minero - Energético, desarrollando investigaciones y creando productos tecnológicos de innovación que permitan la interacción y control de diferentes fuentes de energía eléctrica, con el fin de evitar problemas de los cortes de alimentación a partir de una comprensión más detallada de lo que está sucediendo en toda la red, en lugar de plantas centralizadas de energía, utilizando tecnología de última generación para asegurarse de que si una fuente está fallando, la electricidad puede ser instantáneamente enviada a la red procedente de otras fuentes, ajustando y reorientando la energía de forma rápida y eficaz. Permitiendo así que el departamento sea un referente en el desarrollo de Sistemas de control para la interconexión y gestión de la energía en Smart Grid y tecnología de innovación, ayudando a disminuir el rezago que aqueja el departamento en estas áreas y aumentando las capacidades CTel en el foco Minero - Energético.

JUSTIFICACIÓN.

Las ineficiencias de los sistemas eléctricos producen grandes impactos ambientales, en diferentes países con la mayor parte de la energía derivada de los combustibles fósiles se estima que el sector eléctrico es responsable de aproximadamente el 40% de las emisiones de CO₂ (Aldana, 2010), (Patttanayak, 2014).

La agencia internacional de la energía considera que el sector eléctrico debe otorgar un papel prioritario a las energías renovables para alcanzar el objetivo BLUE (Aldana, 2010),(Patttanayak, 2014) y que la eficiencia energética y las energías renovables contribuyan a la reducción global de emisiones de CO₂ en un 43% y un 21% respectivamente.

Además, que el sector eléctrico es el que tiene un mayor peso en la reducción de emisiones, mostrándose como una opción eficiente frente a las tecnologías del sector del transporte (IEA, 2008), (Dubrovsky, 2019).

Las tecnologías pueden y deben desempeñar una función integral en la transformación del sistema energético, el éxito estará sustancialmente supeditado al funcionamiento general del sistema, y no solo a las tecnologías individuales, pero se requieren de la creación de políticas energéticas.

La construcción de grandes centrales de generación supone un problema que no es solo producirla, sino conectarla a la red. Para transportar la electricidad desde este tipo de centrales hasta los centros de consumo, hay que salvar enormes distancias lo cual supone aumentar los costos de transporte y las pérdidas.

La integración de sistemas de generación distribuida como solar, fotovoltaica, biomasa, microhidráulica o geotérmica supone un gran avance a la hora de evitar emisión de CO₂. Se espera que, gracias a una mejora en las tecnologías constructivas, a una mayor eficiencia en la conversión y a una disminución de los costos de producción, aumente la contribución de dichas fuentes a la futura red Smart Grid.

La implementación del sistema de control inteligente para la interconexión y gestión de la energía en Smart Grid, pueden presentar beneficios como: reducción de pérdidas, incremento de la confiabilidad, aumento de la calidad de energía, reducción del número de interrupciones, flexibilidad de generación, reducción de costos debido a la reducción de la demanda pico y suministro energético en aquellos lugares donde no llega la red convencional (Díaz, 2011).

Con todo lo anteriormente mencionado es necesario el desarrollo de sistemas de control para la interconexión y gestión de la energía, que nos permitan a futuro dar soluciones técnicas en las etapas de generación, transmisión y distribución y gestión de la energía.

MARCO CONCEPTUAL:

El consumo de energía eléctrica crecerá sustancialmente en el futuro, así como la creciente participación de las energías renovables. La disponibilidad de la energía eólica y solar es, por naturaleza intermitente y difícil de predecir. Además, la energía renovable se genera a menudo en lugares remotos donde la infraestructura de la red local es débil. Los roles de los consumidores y de la distribución están cambiando: los consumidores con su propia generación local están evolucionando para convertirse en parte activa de la red.

La forma tradicional en el planteamiento del control inteligente de la energía implica atender el crecimiento de la variabilidad con un incremento en las reservas. Esto es costoso y puede negar al medio ambiente las ventajas de la generación renovable. El trabajo " más inteligente " adopta una visión más amplia de ver el sistema eléctrico frente a un aumento de capacidad en forma económica y confiable. Mientras el sistema de control tradicional asume el lado de la demanda en una sola dirección, las redes inteligentes incentivan a los consumidores a modificar sus patrones de consumo siendo también actores dentro del mercado eléctrico (Cuenca, 2013).

Los sistemas de control, también llamado en la actualidad sistemas de gestión energética (BEMS, Building Energy Management System) monitoriza y controla servicios, asegurando que operan a niveles máximos de eficiencia. Esto se consigue manteniendo un equilibrio óptimo entre las condiciones de consumo de energía y los requisitos de funcionamiento (Torre, 2017).

Sus principales componentes son:

Controladores: Son equipos inteligentes que reciben señales de dispositivos de campo (p.ej. sensores) y de acuerdo a la programación realizada toman medidas para controlar los equipos.

Supervisores: Son interfaces de usuario donde se ven y/o modifican los datos del sistema, así como proporcionan una amplia gama de funciones de análisis energético y de mantenimiento.

Redes: Permiten que los dispositivos se comuniquen a distancia, ya sea a nivel local o de forma remota. Esto significa que la información se puede acceder en cualquier momento y en cualquier lugar, lo que garantiza la continuidad total del servicio.

Dispositivos de campo: Los dispositivos de campo, como sensores, actuadores, etc. envían o reciben datos directamente de los controladores para el control y la supervisión, ya sea en local o remoto.

Las Smart Grids son la evolución del sistema que gerencia la demanda eléctrica de una manera sostenida, económica y confiable, construida sobre una infraestructura ajustada para la integración de todos los involucrados (Falco, 2011).

Los proyectos de Smart grids actualmente comienzan con una aplicación de automatización de la generación (como el sistema de control distribuido), automatización de subestaciones (SCADA/EMS), automatización de la distribución, demanda responsable o automatización de la medición, y luego el diseño de una red de comunicación capaz de soportar la funcionalidad de integrar generación, transmisión, distribución y carga. Las Smart grids están destinadas a

emerger debido a dos razones: la electricidad es un componente esencial en la vida moderna y el progreso tecnológico.

Características y beneficios de una Smart grid

El desarrollo e implementación de las Smart grids será progresivo y dependerá de los avances tecnológicos y política energética (Carbajo, 2012), (Lorente, 2011), (Hernandez, 2019). A continuación, se detallan algunas de las características de las Smart grids:

- *Eficiencia.* La optimización de la supervisión y coordinación de la generación, transmisión y distribución mediante nuevos sistemas de control y adquisición de datos y la reducción de pérdidas en los sistemas de distribución y transmisión al introducir tecnología digital para gestionar y controlar los flujos de potencia, permiten satisfacer las necesidades energéticas, minimizando la necesidad de una gran infraestructura. Es decir, la producción y transferencia de energía usando menos energía implica la reducción del consumo.
- *Flexibilidad.* Adaptable a las necesidades cambiantes del sistema y bidireccional.
- *Fiabilidad y Seguridad.* La capacidad de operarse y protegerse con seguridad y la disponibilidad de información en tiempo real, asegurando la disponibilidad de energía, mientras que se evita y anticipa las amenazas sobre la integridad del sistema e interrupciones.
- *Apertura.* Permite integrar de forma segura las fuentes de energía renovable, facilita el desarrollo de los mercados eléctricos mediante la creación de nuevas oportunidades de negocio.
- *Sostenibilidad.* Respetuosa con el medio ambiente y socialmente aceptada.
- Entre los beneficios de las Smart Grids se tiene:
- *Económicos.* Reducción de las inversiones necesarias en infraestructura de red y generación, reducción de los costos derivados de las fallas en el sistema, reducción de los costos de producción mediante el uso más eficiente de las tecnologías de la producción; en consecuencia, una adecuada gestión de la demanda y el desarrollo de

la industria tecnológica (contadores, sensores, sistemas de comunicación inteligente, vehículos eléctricos y energías renovables).

- *Medio Ambientales.* Reducción de las emisiones de CO₂ adecuando la gestión de la demanda para reducir las puntas de consumo y la integración de las energías renovables. Uso masivo de vehículos eléctricos. Reducción del impacto ambiental consecuencia de la construcción de grandes infraestructuras.
- *Del Sistema Eléctrico.* Mejorar la confiabilidad del sistema, optimización del uso de las centrales de producción, reducción de las pérdidas del sistema, optimización del control de voltaje y de potencia, facilitar la integración de fuentes de energía renovable mediante la implementación de sistemas bidireccionales de control y monitorización del consumo e incrementar la seguridad del sistema a través de la implementación de nuevos sistemas tecnológicos de información.
- *De los Consumidores.* Los consumidores cuentan con mayor seguimiento y control sobre la forma en que la energía se produce y entrega, lo que les permite gestionar su consumo. Los dispositivos inteligentes aplicados a la red de distribución permitirán a los consumidores transformarse en “prosumidores”, es decir productores y consumidores al mismo tiempo, lo cual implica la micro-generación y la comercialización de la electricidad a nivel local.

Las redes eléctricas inteligentes, o Smart grids, son un concepto del que ya se hablaba hace más de una década. Concretamente algunos autores como Irving, Taylor, Alexandridis y Hobson se referían en (Irving, et al., 2004),(Alexandridis, 2017) al concepto como power-systems computing grid, el cual mostraban como una aplicación de otro concepto más general denominado grid computing en los sistemas eléctricos tradicionales, y del cual afirmaban los autores que: “podría ofrecer a los participantes del mercado un medio económico y eficiente de competir y cooperar para entregar un suministro eléctrico confiable, económico y sostenible”.

En publicaciones más recientes las REI son descritas como:

“una red eléctrica inteligente es una red eléctrica que puede integrar de manera inteligente las acciones de todos los usuarios conectados a ésta – generadores, consumidores y aquellos que hacen ambas cosas- con el objetivo de entregar eficientemente un suministro de electricidad sostenible, económico y seguro” (European Technology Platform, 2008).

“sistemas eléctricos que utilizan tanto las tecnologías de información y comunicaciones (bidireccionales y seguras) como la inteligencia computacional de manera integrada a través del espectro completo de los sistemas eléctricos, desde la generación hasta los puntos finales de consumo de la electricidad” (Gharavi & Ghafurian, 2011), (Yoldaş, 2017).

En cualquier caso, el concepto es una respuesta a la necesidad creciente de contar con un suministro limpio, seguro, confiable, resistente, eficiente y sostenible de la energía eléctrica que un grupo de individuos pueda requerir (Gharavi & Ghafurian, 2011), (Yoldaş, 2017).

Las REI se apalancan en múltiples tecnologías y conceptos, agrupándolas y consiguiendo un efecto conjunto que apunta a cumplir los objetivos que se traza. Algunas de éstas son:

- Respuesta de la demanda (RD)
- De acuerdo con (Moslehi & Kumar, 2010) la gestión de consumo (load management) supone la: “reducción del consumo de electricidad, en respuesta a situaciones de emergencia y/o de condiciones de precios altos”.
- ● *Infraestructura Avanzada de Medición (IAM)*
- En general, la Infraestructura Avanzada de Medición es una red de comunicaciones bidireccional que integra medidores inteligentes, sensores, sistemas de cómputo y software especializado para la recolección y entrega de información entre medidores y las empresas de servicios públicos (Gungor, et al., 2011).
- ● *Almacenamiento de electricidad (AE)*
- Son tecnologías que permiten almacenar energía para consumos posteriores. Algunas de las principales tecnologías se fundamentan en baterías, almacenamiento

con aire comprimido, volantes de inercia, supercondensadores, métodos de almacenamiento de energía solar (Diaz, et al., 2011) y centrales de bombeo. Bajo las REI, la ventaja que brindan estas tecnologías radica en que permiten aplanar la curva de consumo, así como contribuir a mejorar condiciones de congestión temporal de las redes de transmisión y distribución de energía (Moslehi & Kumar, 2010).

- ● *Generación Distribuida (GD)*
- De acuerdo con (Meng, 2003), los sistemas de generación distribuida “consisten en un número de pequeñas fuentes de generación de energía que proporcionan electricidad de forma más cercana al usuario que una central de generación eléctrica. Entre las tecnologías de generación a pequeña escala se encuentran los aerogeneradores, celdas de combustible, microturbinas de gas/diésel, pequeños generadores hidráulicos y paneles fotovoltaicos”. Estas condiciones permiten obtener ventajas como bajas pérdidas por transmisión y distribución, flexibilidad en los picos de demanda y factibilidad de suministrar electricidad en zonas aisladas de la red eléctrica.
- ● *Micro redes (Microgrids)*
- Las micro redes son sistemas que tienen al menos una fuente de generación distribuida y una carga asociada, las cuales pueden formar intencionalmente una isla dentro del sistema de distribución eléctrica. Este esquema permite conectar y desconectar las cargas y las fuentes de generación de la red eléctrica con mínima afectación de las cargas locales (Kroposki, et al., 2008).
- ● *Cargas inteligentes (Smart Loads)*
- Dispositivos de usuario final (electrodomésticos, vehículos, entre otros) que estarán habilitados para recibir información de precios de la electricidad y condiciones de la red y de manera inteligente tomar decisiones locales sobre si deben modificar su consumo (Ipakchi & Albuyeh, 2009).
- ● *Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC)*

- Las TIC son definidas como: “hardware, software, redes y contenido para la recolección, almacenamiento, procesamiento, transmisión y presentación de información (voz, datos, texto, imágenes) así como servicios relacionados” (World Bank, 2013).
- Adopción de las REI en Colombia
- Al respecto, se realizó una búsqueda de bibliografía relevante (tesis, artículos y memorias de presentaciones) en IEEE, Scielo y bases de datos de tesis de posgrado colombianas, sobre temas relacionados con la adopción de tecnologías relacionadas con las REI en Colombia, y se encontraron los siguientes contenidos destacados:
- Pérez (2015): Realiza un análisis detallado de la curva de carga del mercado eléctrico colombiano, analiza la variación de los costos marginales ante la implementación de programas de respuesta de la demanda y estima la relación entre la demanda comercial y el precio de bolsa del mercado spot (Perez, 2015).
- Castaño (2013): Estudia el comportamiento de los futuros usuarios de medidores inteligentes en Colombia y estima mediante modelos de dinámica de sistemas la respuesta de la demanda de electricidad bajo este esquema. Concluye acerca de los beneficios de estas tecnologías de medición inteligente, enfocados a la disminución de los picos en la curva de carga eléctrica, potenciales decrementos en las tarifas de la electricidad y a mejorar la eficiencia de uso de los activos eléctricos. Sugiere la adopción de políticas para la adopción de estas tecnologías (Castaño, 2013).
- Franco, Velásquez, Castaño (2014): Presenta un análisis sistemático de literatura relevante sobre las REI desde el lado de la demanda, aplicable al caso colombiano. Presenta información sobre lo que se ha adoptado de las REI en el país, artículos internacionales influyentes, modelos para estimar la penetración de las SG y en general el estado del arte de las REI y el comportamiento de los usuarios (Castaño, et al., 2014).
- Céspedes, León, Salazar, Ruiz, Hidalgo, Mejía (2012): Presenta la iniciativa de Colombia Inteligente, encaminada a coordinar la penetración de las REI en el país.

Establece una comparación entre los factores que motivan la adopción de las REI en el mundo y los aplicables al caso colombiano. Concluye que es de alta importancia determinar los reales motivadores para la adopción de las REI en Colombia (Cespedes, et al., 2012).

- Baratto, Cadena (2011): Evalúa los beneficios de trasladar los precios del mercado mayorista al mercado minorista de energía, como estrategia de reducción de picos de consumo. Concluye sobre los beneficios obtenidos bajo este esquema (Baratto & Cadena, 2011).
- Gómez, Pérez, Cruz (2013). Propone un método de análisis para determinar el nivel de incorporación de las REI en el país. Recopila modelos de madurez de las REI disponibles en la literatura académica (Gómez, et al., 2013).

A éstos se les realizó posteriormente un filtrado manual, en función del contenido de los abstracts y se encontró que los artículos más influyentes, son los siguientes:

- "Comparación de algoritmos MPPT aplicados a un convertidor SEPIC en sistemas fotovoltaicos", (Mejía D., 2015).
- "The Smart Transformer: Impact on the Electric Grid and Technology Challenges", (Liserre, G., 2016).
- "Sistema solar para la operación de un robot agrícola". (Mejía D., 2016)
- "Load forecasting, dynamic pricing and DSM in Smart grid". (Khan A., 2016),
- "MPPT CONTROL SYSTEMS USED IN SUNFLOWER FOR MAXIMUM EFFICIENCY" (Mejía D., 2016).
- "A review of the development of Smart Grid technologies". (Tuballa, M., 2016).
- "A survey on smart metering and Smart grid communication". (Kabalci, 2016)
- "Diseño de una Smart grid para un sistema híbrido de energía". (Beleño K., 2013).

Estos artículos tratan principalmente aspectos fundamentales de los sistemas de control y gestión de la energía, energías alternativas: motivadores de adopción, resultados que se

esperan de las mismas, aspectos metodológicos, tecnologías y conceptos que la componen y visiones de largo plazo en cuanto a su adopción, los cuales se consideran de alta utilidad para la correcta comprensión de los temas que hacen parte de esta propuesta.

CONCLUSIONES:

De acuerdo a lo expuesto la solución de estos retos contribuirá al mejor aprovechamiento de los recursos energéticos y la transición que el mundo debe hacer hacia un desarrollo sostenible.

Con la búsqueda de bibliografía realizada se presentan los artículos más relevantes relacionados con la incorporación de los sistemas de control y gestión de la energía, sistemas de control en fuentes de generación alternativa.

BIBLIOGRAFÍA

AB Niño., (2018), Micro turbina Peltón, una solución real de energía para zonas no interconectadas (ZNI). Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, ISSN: 1692-7257.

ALDANA, Andrés. CÉSPEDES, Renato. PARRA, Estrella. TORRES, Camilo. "Evolution of Power to Smart Energy System". 2010.

Alexandridis A., Papageorgiou P.(2017).A complex network deployment suitable for modern power distribution analysis at the primary control level.

<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1272>

Baratto, P. & Cadena, A., 2011. Benefits of implementing a demand response program in a non-regulated market in Colombia. Anaheim, s.n.

CARBAJO, Alberto. “La Operación del Sistema en el Marco de las Smart Grids”. Comisión Nacional de Energía. Marzo 2012.

Castaño, N., 2013. Una aproximación a la adopción de medidores inteligentes en el mercado eléctrico colombiano y su influencia en la demanda. [En línea] Available at:
<http://www.bdigital.unal.edu.co/9393/>

Castaño, N., 2013. Una aproximación a la adopción de medidores inteligentes en el mercado eléctrico colombiano y su influencia en la demanda. [En línea] Available at:
<http://www.bdigital.unal.edu.co/9393/>

Castaño, N., Franco, C. J. & Velásquez, J. D., 2014. Adopción de medidores inteligentes: Avances recientes y tendencias futuras. DYNA, Volumen 183, pp. 221-230.

Céspedes, R. y otros, 2012. An appraisal of the challenges and opportunities for the Colombia Inteligente Program implementation. San Diego, s.n.

CREG 026. (2018). Documento CREG 026. Análisis de comentarios a la resolución CREG 121 de 2017.

CREG No. 030 (2018). Colombia: Diario Oficial No. 50522.

Cuenca I. (2013). Introduccion de Smart Grid en el Ecuador. . [En línea] Available at:
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5897/1/CD-4742.pdf> [Último acceso: 01 2020].

Díaz, C. & Hernández, J. (2011). Smart Grid: Las TICs y la modernización de las redes de energía eléctrica – Estado del Arte. Revista S&T, 9(18), 53-81.

Diaz, D. y otros, 2011. Esquema de incorporación de las smart grids en el sistema de potencia colombiano. Revista Investigaciones Aplicadas, 5(1).

DIEGO ARMANDO MEJIA BUGALLO, "Comparación de algoritmos MPPT aplicados a un conversor SEPIC en sistemas fotovoltaicos" . En: Colombia El Hombre Y La Máquina ISSN: 0121-0777 ed: Programa Editorial Universidad Autonoma de Occidente v.45 fasc.N/A p.44 - 50 ,2015, DOI: 0121-0777 Palabras: MPPT, Conversor AC/DC, Sistema fotovoltaico,

DIEGO ARMANDO MEJIA BUGALLO, "Sistema solar para la operación de un robot agrícola" . En: Colombia Revista Colombiana De Tecnologías De Avanzada ISSN: 1692-7257 ed: Java Eu v.1 fasc.N/A p.33 - 39 ,2016, DOI: 1692-7257 Palabras: Sistema fotovoltaico, Sistema girasol, Optimi,

DIEGO ARMANDO MEJIA BUGALLO, IVALDO TORRES CHAVEZ, "MPPT CONTROL SYSTEMS USED IN SUNFLOWER FOR MAXIMUM EFFICIENCY" . En: Colombia Revista Colombiana De Tecnologías De Avanzada ISSN: 1692-7257 ed: Java Eu v.1 fasc.N/A p.118 - 123 ,2016, DOI: ISSN: 1692-7257

Dubrovsky H., Sbroiavacca N., Nadal G., Contreras R. (2019). Rol y perspectivas del sector eléctrico en la transformación energética de América Latina: aportes a la implementación del Observatorio Regional sobre Energías Sostenibles. Símbolo ONU:LC/TS.2019/22

European Technology Platform, 2008. Strategic Deployment Document for Europe's Electricity Networks of the Future. [En línea] Available at: ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/technology-platforms/docs/smartgrids/sdddraft-25-sept-2008_en.pdf [Último acceso: 04 2016].

FALCO, Roberto. "La convergencia de las tecnologías de operación y las tecnologías de la Información". CIEPPI Seminario Internacional Smart Grids. Noviembre 2011.

- Gharavi, H. & Ghafurian, R., 2011. Smart Grid: The Electric Energy System of the Future [Scanning the Issue]. Proceedings of the IEEE, 99(6).
- Gómez, G., Pérez, J. D. & Cruz, R. D., 2013. Characterization Model of Smart Grid in Colombia. Medellín, s.n.
- Gungor, V. y otros, 2011. Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 7(4).
- H. Farhangi, "The path of the Smart Grid," IEEE Power and Energy Magazine, Vol. 8. No. 1, pp. 18–28, Jan. 2010
- Hernández H., Vilorio A., Gamboa R., Niebles W., Solórzano J. (2019). Intelligent Model for Electric Power Management: Patterns. doi:10.1088/1742-6596/1432/1/012032
- IEA. "Perspectivas sobre tecnología energética". 2008. Disponible en: http://www.iea.org/techno/etp/ETP_2008_Exec_Sum_spanish.pdf
- Ipakchi, A. & Albuyeh, F., 2009. Grid of the future. IEEE Power and Energy Magazine, 7(2).
- Irving, M., Taylor, G. & Hobson, P., 2004. Plug in to the Grid Computing. IEEE Power and Energy Magazine, 2(2).
- Kabalci, Y. (2016). A survey on smart metering and smart grid communication. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 57, 302-318.
- Kelvin De Jesus Beleno Saenz, "SISTEMA DE POSICIONAMIENTO SOLAR UTILIZANDO LA PLATAFORMA DE LABVIEW Y EL MICRONTROLADOR PIC18F4550" . En: Colombia Revista

Colombiana De Tecnologías De Avanzada ISSN: 1692-7257 ed: Java Eu v.1 fasc.18 p.125 -
,2011, DOI:

http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_40/recursos/01_general/230_2011/revistas.jsp

Kelvin De Jesus Beleno Saenz, Oscar Eduardo Gualdron Guerrero, Aldo Pardo Garcia, Julie Stephany Berrio Perez, "Diseño de una smart grid para un sistema híbrido de energía" . En: Colombia Prospectiva ISSN: 1692-8261 ed: Universidad Autonoma Del Caribe v.11 fasc.2 p.94 - 101 ,2013, DOI:

Khan, A., Mahmood, A., Safdar, A., Khan, Z., & Khan, N. (2016). Load forecasting, dynamic pricing and DSM in smart grid: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1311-1322.

Kroposki, B. y otros, 2008. Making microgrids work. *IEEE Power and Energy Magazine*, 6(3).

Ley N° 1715 (2014). Colombia: Diario Oficial de la república de Colombia.

LORENTE DE LA RUBIA, Javier. "Estudio Sobre el Estado Actual de las Smart Grids". Junio 2011.

Lui, T. J., Stirling, W. & Marcy, H. O., 2010. Get Smart. *IEEE Power and Energy Magazine*, 8(3).

Márquez, L. E., Abdo, Y. N., & Ángulo, F. J. (2015). Prototipo de control de acceso a aulas y registro automático de asistencia. *Revista colombiana de Tecnologías Avanzadas*, Vol 2, No. 26, 41-47.

M. Liserre, G. Buticchi, M. Andresen, G. De Carne, L. F. Costa and Z. Zou, "The Smart Transformer: Impact on the Electric Grid and Technology Challenges," in *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 10, no. 2, pp. 46-58, June 2016. doi: 10.1109/MIE.2016.2551418
keywords: {Computer architecture;Reliability;Reactive power;Architecture;Load flow;Renewable energy sources;Silicon}, URL:

<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7497683&isnumber=7497621>

Meng, J., 2003. A distributed power generation communication system. Regina, s.n.

Moslehi, K. & Kumar, R., 2010. A Reliability Perspective of the Smart Grid. IEEE Transactions on Smart Grid, 1(1).

PAED. (2015). plan y acuerdo estratégico departamental de ciencia, tecnología e innovación. Departamento del Cesar.

Paterakis, N., Erdinç, O., & Catalão, J. (2017). An overview of Demand Response: Key elements and international experience. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 69, 871-891.

Perez, J., 2015. Tesis de Maestría: Evaluación del Impacto sobre los Costos Marginales de Mediano Plazo ante la Implementación de Programas de Respuesta de la Demanda de Energía Eléctrica en Colombia usando Modelos de Planificación Operativa. [En línea] [Último acceso: 2019].

Peter D., Juuso L., Jani M. & Jyri S. (2015). Review of energy system flexibility measures to enable high levels of variable renewable electricity. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.057>

Plan de desarrollo departamental del cesar: El camino del desarrollo a la paz, 2016

S. Patttanayak, B. S. Pattnaik and B. N. Panda, "Implementation of a smart grid system to remotely monitor, control and schedule energy sources using Android based mobile devices," 2014 9th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS), Gwalior, 2014, pp. 1-5. doi: 10.1109/ICIINFS.2014.7036599.

T Velásquez, E Espinel, G Guerrero (2016). Estrategias pedagógicas en el aula de clase. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, ISSN: 1692-7257.

Torre S. (2017). Sistema de Control como herramienta de eficiencia energética. [En línea] Available at: <https://www.interempresas.net/Rehabilitacion/Articulos/196363-Sistema-de-Control-como-herramienta-de-eficiencia-energetica.html> [Último acceso: 01 2020].

Tuballa, M., & Abundo, M. (2016). A review of the development of Smart Grid technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 59, 710-725.

UPME (2015). Plan energético nacional Colombia: Ideario energético 2050.

Velásquez, J., Dyner, I. & Castro, R., 2007. ¿Por qué es tan difícil obtener buenos pronósticos de los precios de la electricidad en mercados competitivos?. Cuad. Adm. , 20(34), pp. 259-282.

Villa F, Velásquez J, Sánchez P. (2015). Overfitting control inside cascade correlation neural networks applied to electricity contract price prediction. Rev. ing. univ. Medellín [online]. 2015, vol.14, n.26, pp.161-176. ISSN 1692-3324.

World Bank, 2013. ICT Glossary Guide. [En línea] Available at: <http://go.worldbank.org/UPJ4PKMG60> [Último acceso: 12 2019].

Yoldaş Y., Önen A., Muyeen S., Vasilakos A., Alan I. (2017). Enhancing smart grid with microgrids: Challenges and opportunities. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.064>