

DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN EMPRESARIAL

La revista electrónica de COLINNOVACIÓN, tiene el compromiso de informar sobre la actualidad de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación en Colombia.





INNOVACION

I Tabla de contenido

SCADA SOCIAL, CONCEPTOS Y APLICACIONES PARA REDES DE DISTRIBUCION ELÉCTRICA.....	4
TURBINAS HIDROKINÉTICAS UNA ALTERNATIVA PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA.....	10
GENERACION DE ENERGÍA DISTRIBUIDA Y SU EFICIENCIA EN LA CADENA DE VALOR DE LA ENERGÍA	16



DIRECTOR

Gabriel Alberto Zamudio

EDITOR

Julian Andres Zamudio

CONSEJO EDITORIAL

Hermann Fuquen
Juan Carlos Salavarría
Claudia Sánchez



IMPRESIÓN - WEB
COLINNOVACIÓN SAS.

COMUNICACIÓN
colinnovacion@gmail.com
contacto@colinnovacion.com

Desarrollo Tecnológico e
Innovación Empresarial
Edición 5 – Volumen 2
ISSN 2322-8725

SCADA SOCIAL, CONCEPTOS Y APLICACIONES PARA REDES DE DISTRIBUCION ELÉCTRICA

Hermann Fuquen Consultor en Innovación Tecnológica (COLINNOVACION)

Resumen — Se presenta una revisión al concepto de SCADA Social y su importancia en la introducción de sistemas de distribución de energía eléctrica para comunidades no interconectadas. Se revisa la implementación de tecnologías para la generación de energía eléctrica con recursos renovables y como puede llegar a ser viable la integración de estas tecnologías en comunidades aisladas a través del apropiamiento de la tecnología por la comunidad para el control y mantenimiento de los sistemas de generación y distribución. Se muestran casos en comunidades latinoamericanas aisladas que implementaron sistemas de generación eléctrica con fuentes renovables y se evidencia como el acceso a la energía eléctrica mejoraría la calidad de vida de las poblaciones y la posibilidad de realizar el mantenimiento y operación de estos sistemas en el largo plazo por la misma comunidad, gracias a sistemas de control como lo es el SCADA Social.

Palabras Clave — Micro redes, Sistemas de Supervisión, Control Eléctrico.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas SCADA se define como un sistema computacional de adquisición de datos para la supervisión y control de plantas o equipos industriales. Estos sistemas permiten recolectar y analizar datos en tiempo real para tomar decisiones operativas y estratégicas. En la industria de generación y distribución eléctrica los sistemas SCADA son claves para el control y gestión de los procesos operativos, los cuales permiten la gestión eficiente de los mismos, aumentando la confiabilidad para el suministro del servicio de energía eléctrica.

Los sistemas SCADA convencionales están integrados por hardware (conocido como Unidad Terminal Remota – RTU) y software, por lo cual, requieren para su operación personal calificado y altamente entrenado (Jiménez-Estévez, Palma-Behnke, Ortiz, Núñez, & Silva, 2014).

Prácticamente todas las grandes empresas de generación y distribución eléctrica utilizan sistemas avanzados tipo SCADA de proveedores especializados para el control de sus centrales de energía (Al-Mofleh, Quteishat, & Salah, 2015). Sin embargo, en países en vías de desarrollo, estas grandes empresas atienden a consumidores ubicados principalmente en zonas urbanas o cercanas a ellas y buena parte de las comunidades ubicadas en zonas aisladas no cuentan con suministro eléctrico ya que no alcanzan a ser conectadas a las redes eléctricas existentes.

Para este tipo de comunidades aisladas, los sistemas de generación distribuida o Microrredes son una solución promisoría ya que permite la generación, almacenaje local y distribución de demandas eléctricas en varias locaciones al interconectar varias comunidades en redes eléctricas o permitir también su operación de modo aislado (Jimenez-Estevez et al, 2014).

Para la operación de estas unidades de generación y consumo eléctrico de comunidades aisladas, se propone el uso de los

mismos conceptos de los sistemas SCADA tradicionales, pero con un componente social, aplicados a pequeñas comunidades principalmente rurales que permitan el control de los sistemas de generación y distribución por la propia población donde están instaladas las redes o equipos de generación eléctrica.

La apropiación del control de sus sistemas de generación y distribución eléctrica por la misma comunidad que se beneficia de esta infraestructura, permite viabilizar este tipo de proyectos que muchas veces es difícil de asumir completamente por empresas electrificadoras tradicionales, creando rápidamente capacidades en las comunidades de adaptación a los cambios, cuando se enfrentan al nuevo acceso del suministro eléctrico y reflexividad que se refiere a la capacidad de asumir cambios durante el proceso de definición del proyecto a implementar y durante la ejecución del mismo (Jiménez-Estévez G. , 2015).

Este artículo tiene como objetivo retomar algunos conceptos relacionados con los procesos y sistemas de SCADA de carácter social; en la siguiente sección se describirá en forma general la funcionalidad de los sistemas SCADA tradicionales, posteriormente se revisará el concepto e importancia de los sistemas de generación eléctrica renovable, posteriormente se revisará el concepto y aplicación de los sistemas de SCADA Social y algunos casos de aplicación de estos sistemas, cerrando este artículo con las conclusiones respectivas a esta revisión.

2. SISTEMAS SCADA

Los sistemas SCADA son ampliamente utilizados en la industria para el control supervisado y adquisición de datos de plantas industriales, especialmente para centrales de generación eléctrica, aunque también aplica a cualquier sistema industrial complejo como son plantas de producción de acero, fabricación de productos químicos y hasta instalaciones de desarrollo experimental o de investigación avanzada como plantas de fusión nuclear, por lo que puede estar enfocado a los sistemas de enfriamiento, ventilación avanzados entre otras aplicaciones (Daneels, 1999). Este tipo de sistemas no está destinado a manejar el control total de un sistema industrial, sino que enfatiza su utilización como elemento de supervisión. Por tanto, se compone principalmente de una herramienta de Software que es instalada como elemento central de los sistemas de información con interfaces con los controladores lógicos programables (PLC) u otros módulos de hardware comercial (Bailey, 2003).

Los sistemas SCADA se componen de dos capas, una es la capa de cliente que se encarga de la interacción con el humano que controla y supervisa el sistema y otra capa corresponde a la del servidor de datos que maneja en su mayoría el control del procesamiento de datos. Estos datos son obtenidos de los dispositivos controladores como los PLC y se conectan directamente o a través de redes o buses de datos los cuales pueden ser propietarios (como los desarrollados por Siemens) o no propietarios como los desarrollados por proveedores que permiten acceso abierto (Daneels, 1999).

También suelen ser sistemas que permiten escalabilidad para permitir al sistema de control añadir más variables de proceso, o servidores especializados y clientes. Esto permite tanto generar más fuentes de datos en sistemas supervisados o permitir su crecimiento en cuanto las capacidades industriales crecen o la necesidad de controlar un mayor número de variables es requerida. Adicionalmente, deben ser redundantes al nivel del servidor para asegurar la confiabilidad de la operación de supervisión en caso de fallas en los datos generados, la redundancia debe ser transparente para el usuario final o cliente (Daneels, 1999).

Para el usuario final el sistema SCADA debe permitir visualizar los parámetros de control de manera amigable a través de graficas de tendencias en tiempo real e históricos, así como el manejo y configuración de alarmas que permita la toma de decisiones rápida y los ajustes adecuados para optimizar la operación industrial, dejando el procesamiento de datos a los sistemas informáticos internos (Bailey, 2003).

3. FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE

Actualmente existen varias tecnologías para el desarrollo de proyectos de generación eléctrica basado en fuentes no convencionales de energía, como son la generación eólica, generación solar o hidráulica, todas ellas con buenos niveles de maduración tecnológica, adecuadas para distintos tipos de escalas de generación. Para determinar la pertinencia de utili-

zar alguna de estas tecnologías y su escala en poblaciones específicas es importante tener en cuenta los impactos de integración de fuentes renovables como se resume a continuación:

3.1. BENEFICIOS E IMPACTOS DE LA INTEGRACIÓN DE FUENTES RENOVABLES

Alrededor del tema de beneficios a ser obtenidos de la integración de fuentes no convencionales de energía renovable, diversas fuentes como como (Zahedi, 2011), (IDB, 2012) & (IRENA, 2016) plantean como tales beneficios que se centran en ejes de política de estado como son la seguridad energética, el logro de beneficios ambientales, la mitigación del cambio climático, la reducción de la contaminación del aire y mejoramiento de la salud pública, la generación de empleo, y en términos generales, el enganche hacia una senda de crecimiento económico sostenible y lo que ha de verse como un primer paso de acercamiento hacia la sostenibilidad del sector energético en el largo plazo (con una visión de 30, 50 y 100 años en el futuro).

El Centro de Investigación en Energía de Holanda - Energy Research Centre of the Netherlands - (ECN, 2014) establece cómo la magnitud de los impactos a ser considerados depende principalmente de factores particulares a cada sistema y cada caso como son:

- Los factores de carga y los niveles de penetración involucrados
- Los perfiles de generación de las fuentes variables integradas
- Las curvas de carga y su correlación con la generación a partir de fuentes variables
- La magnitud de la demanda pico
- El mix de generación
- El tamaño del área geográfica considerada y del área de balanceo
- Las conexiones de transmisión con otros países
- El diseño de las redes de distribución

En cuanto a los niveles de penetración involucrados en cada caso, diferentes autores (Georgilakis, 2006), (ECN, 2014), (IEA, 2014) & (Ueckerdt, Hirth, Luderer, & Edenhofer, 2014) coinciden en establecer una especie de regla general empírica que indica que a niveles bajos de penetración en términos de la generación anual del sistema (del orden de 2%, 3%) no suelen evidenciarse mayores impactos (caso del escenario supuesto por (UPME-BID, 2015) para Colombia), mientras que los efectos empiezan a notarse con niveles superiores en el orden de 5% a 10% y progresivamente van cobrando mayor relevancia cuando se alcanzan órdenes de penetración del 30% o 40% que son los máximos observados al día de hoy a nivel internacional (en promedio anual, no pico). Resulta relevante notar que a 2015 el país con mayor índice de penetración en materia de la participación de renovables variables en su producción de energía eléctrica es Dinamarca con un 42% de su electricidad generada a partir de energía eólica (The Guardian, 2016).

4. SCADA SOCIAL

En este sistema, se promueve el uso de la tecnología para el control y adquisición de datos, simplificando las interfaces hombre máquina, facilitando de esa manera el intercambio de información entre el sistema de micro-red y la comunidad (Jiménez-Estévez, Palma-Behnke, Ortiz, Núñez, & Silva, 2014). Este cambio de interfaz permite que las personas de la comunidad que van a operar el SCADA Social, puedan ser capacitados con un proceso de entrenamiento básico para interactuar con el sistema eléctrico de manera práctica.



Figura. 1. Componentes del Social SCADA
Fuente: (NÚÑEZ, ORTIZ, & PALMA-BEHNKE, 2013)

4.1. COMPONENTE SOCIAL

De la Figura 1 se puede ver que la comunidad en el modelo de Scada Social es el primer integrante; esta situación fue identificada a partir de la experiencia en proyectos realizados en comunidades para generación de energía, en la cual, la participación de la comunidad desde el inicio, particularmente en la toma de decisiones, permitiría lograr el éxito del proceso (Jiménez-Estévez G. , 2015). Se conforma a partir de la descripción realizada con la comunidad, relacionada tanto con las interacciones sociales requeridas, como los actores locales relevantes, particularmente identificados a partir de la información sobre el uso de la tierra y finalmente con la voluntad de las personas de la comunidad de participar en el proyecto (Jiménez-Estévez, Palma-Behnke, Ortiz, Núñez, & Silva, 2014).

Se requiere un proceso de adaptación en cada comunidad, dadas las particularidades de las diferentes zonas, por lo cual se debe diseñar un sistema que permita la evolución del SCADA convencional, a uno Social, que cumpla con características como: resiliencia, adaptación a la realidad de cada zona, diseñado para una escala pequeña de operación y para generar la mayor cantidad de beneficios a la comunidad. El diseño de este tipo de iniciativas requiere de la intervención de equipos multidisciplinarios (ingenieros y técnicos en áreas de electricidad, mecánica, diseño, informática, entre otros, así como especialistas en ciencias sociales y humanas tal como antropólogos, sociólogos entre otros) (NÚÑEZ, ORTIZ, & PALMA-BEHNKE, 2013).

Desde el punto de vista de los análisis y la ejecución del componente social, se requieren procesos de diagnóstico que permitan establecer desde el punto de vista técnico y humano, con el fin de conocer a fondo la comunidad y establecer los parámetros de intervención con la misma. Es necesario realizar la evaluación de los riesgos y las restricciones técnicas y humanas para la realización de este tipo de iniciativas, anticipando de esa manera la ejecución de los posibles aspectos que detengan el desarrollo de los proyectos. Por otro lado, se requiere establecer las necesidades de capacitación y los planes de largo plazo para el proceso que se implementa, así como los indicadores de desempeño, de tal forma que la comunidad sepa qué medir y como medir con respecto al sistema que se estaría implementando. (NÚÑEZ, ORTIZ, & PALMA-BEHNKE, 2013).

Jimenez-Estevéz et al (2014) indican que el componente técnico de un SCADA que hace parte de un Sistema Social SCADA, requiere de tres módulos diferentes a los de una herramienta convencional: Un módulo de supervisión que permite tanto el control como el continuo monitoreo de la microgrid, el cual cuenta con un mecanismo de comunicación que permite la participación de la comunidad en el sistema, así como de información de alertas y alarmas de mantenimiento tanto preventivo como correctivo.

Otro de los módulos corresponde al soporte para la toma de decisiones, que da apoyo a la comunidad con respecto a las acciones a realizar en el sistema. En tercer lugar, un módulo de optimización del despacho que ajusta los puntos críticos de la unidad de generación a través de cálculos, con el fin de mejorar el uso de los recursos naturales (Jiménez-Estévez, Palma-Behnke, Ortiz, Núñez, & Silva, 2014).

5. CASOS DE APLICACIÓN DE SISTEMAS DE SCADA SOCIAL

5.1. CASO EN HUATACONDO, CHILE

Uno de los casos más representativos es el proyecto presentado por Jimenez-Estévez et al, (2014) realizado con acompañamiento de la Universidad de Chile y su departamento de ingeniería eléctrica, con apoyo de estudiantes de las áreas de ingeniería de recursos naturales, geógrafos y expertos en sostenibilidad. En la comunidad de Huatacondo se desarrolló este caso de implementación de generación eléctrica con fuentes renovables de energía por ser una comunidad aislada en el desierto de Atacama al norte de Chile. Originalmente la comunidad solo contaba con 10 horas de electricidad al día que se proveía de un generador Diesel. Debido a los abundantes recursos renovables de la zona como los eólicos y solares, al contar con una de las radiaciones solares más altas encontradas en el continente, la aplicación de uso de energías renovables se presentó como una gran oportunidad para esta comunidad.

El sistema implementado incluye generación por paneles solares, generador eólico un banco de baterías y el generador Diesel. Por parte de la demanda de energía se contaba con cerca de 30 familias y un sistema de bombeo de agua para el abastecimiento de este recurso a la comunidad.

Durante la implementación de los sistemas se realizó la instalación de los equipos y la puesta a punto de los sistemas de generación con expertos en el área y la integración de varios miembros de la comunidad como el operador del sistema el cual se capacitó y se integró desde los trabajos iniciales de instalación, interactuando continuamente con los expertos técnicos. También miembros de la comunidad se capacitaron en los procesos de mantenimiento necesarios para cada unidad de generación, así como los líderes de la comunidad se integraron en la definición e implementación del nuevo sistema de generación.

Un sistema computacional fue desarrollado para integrar todos los desarrollos y la operación del sistema basado en los conceptos de SCADA Social permitiendo a los habitantes de la comunidad estar al tanto del estado continuo del sistema de energía y permitir la toma de decisiones para la operación confiable del mismo.

Después de un año de operación del sistema, la comunidad ha aceptado en gran parte el nuevo sistema de generación detallando que el 73% de las personas de la comunidad creen que el proyecto ha traído beneficios positivos a la comunidad, permitiendo el desarrollo de nuevos proyectos productivos en la comunidad (Jiménez-Estévez, Palma-Behnke, Ortiz, Núñez, & Silva, 2014).

5.2. CASO EN SAN JOSÉ DEL COCA, ECUADOR

Este proyecto favoreció a la comunidad Kichwa del Ecuador que cuenta con 54 familias, un centro de salud, una escuela con secundaria y un centro comunitario. El proyecto contempla la utilización de una turbina hidro cinética y paneles solares, aprovechando los recursos naturales que contaba la zona. Las tecnologías usadas permitieron desarrollar en la población capacidades técnicas y de gestión empoderando a los usuarios finales. El proyecto se instaló en el 2010 y ha sido beneficioso no solo para mejorar las condiciones socioeconómicas de la población sino para promover proyectos adicionales en términos de transferencia tecnológica, auto-gerenciamiento y entrenamiento técnico en la región amazónica ecuatoriana (López-González, 2016).

La caracterización social de la comunidad fue realizada por un equipo de expertos, al igual que la valoración de las demandas y recursos de energía. En detalle se identificó el potencial para la generación eléctrica con recursos renovables por lo que se concluyó que la primera solución se basaría en una microrred usando el potencial hidro-cinético del río Coca. Las turbinas hidro cinéticas fueron adaptadas a las condiciones del río realizando simplificaciones tecnológicas a las mismas, aprovechando la energía cinética de los ríos lentos. Estas turbinas fueron inspiradas a las diseñadas por Peter Garman la cual fue aplicada a la comunidad del Paraíso, una comuni-

dad Amazónica Peruana. La posibilidad de usar energía eólica fue descartada por el bajo potencial de vientos de la zona, igualmente se verificó el potencial solar el cual fue el esperado según los datos globales de radicación solar para la zona (López-González, 2016).

Posteriormente, se instalaron dos turbinas adicionales en el mismo lugar, y la generación de electricidad se complementó con seis paneles fotovoltaicos de 100 Wp. Inicialmente, la microrred fue concebida para suministrar electricidad solo a los espacios comunitarios, pero luego de la expansión en la capacidad de generación, la red se extendió a las casas cercanas. La microrred funciona de tal manera que todos los generadores proporcionan alimentación de DC a un bus común que suministra baterías a 24 V. La potencia de DC se transforma luego en AC a través de un inversor trifásico que alimenta un transformador para transmitir potencia hasta San José del Coca, a un kilómetro de distancia del río Coca. Una vez allí, un segundo transformador vuelve a conectarse, para su distribución a los usuarios finales siguiendo un esquema radial (López-González, 2016).

Se realizaron varias entrevistas a los miembros de la comunidad y se realizaron varios talleres para promover y socializar el proyecto en la comunidad. Estos trabajos estuvieron a cargo de sociólogos que permitieron que miembros de la comunidad hicieran parte de los trabajos operativos y el mantenimiento de la microrred (López-González, 2016).

5.3. CASO EN DESARROLLO EN LA GUAJIRA, COLOMBIA

Se está desarrollando por ISAGEN junto a la Universidad de los Andes un proyecto para el desarrollo de las energías renovables en el departamento de la Guajira en Colombia. El proyecto se denomina parque eólico Guajira I y II, donde bajo estrecha relación con las comunidades para que las mismas sean las que operen las microrredes a ser desarrolladas bajo los conceptos de SCADA Social. La primera etapa del proyecto implementar un parque eólico de capacidad de 20MW y la segunda parte espera desarrollar un parque para generación de 376 MW (ISAGEN, 2016).

6. CONCLUSIONES

La implementación de sistemas de generación eléctrica con fuentes renovables de energía es una realidad para el contexto colombiano y latinoamericano que debe ser fomentado a través de una política pública sólida que permita que otras comunidades aun no interconectadas tengan acceso a un recurso vital como es la energía eléctrica basada en fuentes renovables.

Aunque las soluciones implementadas en varias regiones para comunidades aisladas han demostrado el potencial de la tecnología, aún falta trabajar en políticas públicas que permitan el fomento de estos sistemas de generación basados en metodologías de control como el descrito SCADA Social para que la comunidad se integre al control y manteniendo de los sistemas de generación y distribución.

Se debe trabajar en el desarrollo de equipos para generación de fuentes renovables con capacidades locales como ya se ha realizado en Brasil y Ecuador, que permita la adaptación de los mismos a las realidades locales de las comunidades, así como de la infraestructura para transporte y control de la generación. Esto con el doble propósito de contar con independencia tecnológica en los países latinoamericanos y para generar capacidades propias para la realización del mantenimiento y gestión de los sistemas de generación. Se evidencia que debe estrecharse los lazos entre entidades universitarias locales con los proyectos comunitarios para lograr un mejor desarrollo de equipos e infraestructura con ingeniería aplicada proveniente de las comunidades académicas regionales.

Las políticas públicas que se implementen para el fomento de este tipo de soluciones de generación eléctrica renovable deben ser coherentes con la realidad de las comunidades aisladas para fomentar la inversión a través de distintos tipos de instrumentos. De esta manera se esperaría que agentes privados y públicos puedan ahondar esfuerzos para implementar este tipo de soluciones que sean económicamente atractivas para todos los actores involucrados y traigan el bienestar deseado a las comunidades que se beneficien de dichos proyectos.

BIBLIOGRAFÍA

- Al-Mofleh, A., Quteishat, A., & Salah, W. (2015). The Malaysian Energy Scenario and the Need for a SCADA System. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 381-387.
- Bailey, D. &. (2003). *Practical SCADA for industry*. Newnes.
- Daneels, A. S. (1999). What is SCADA? *International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems*, (págs. 339-343). Trieste, Italy.
- ISAGEN. (2016). *Gestión del Crecimiento*. Medellín: Isagen. Recuperado el 11 de 08 de 2016, de https://www.isagen.com.co/SitioWeb/html/informe-de-gestion/2016/pdf/Gestion_crecimiento.pdf
- Jiménez-Estévez, G. (2015). Micro-redes: Modelo de desarrollo y operación de micro-redes con alta penetración de energía solar y relación con comunidades urbanas y rurales. *Enersol PRIMER FORO SOLAR 2015*, (pág. 37). Recuperado el 2016, de Sitio Web del SERC - Chile: <http://serc.cl/wp-content/uploads/2015/10/5-GUILLERMO-JIMENEZ-Micro-grids-GJimenez-133873.pdf>
- Jiménez-Estévez, G., Palma-Behnke, R., Ortiz, D., Núñez, O., & Silva, C. (2014). It Takes a Village. *IEEE power & energy magazine*, 60-69.
- López-González, A. D.-H.-M. (2016). *Draft - Renewable microgrid projects for autonomous small-scale electrification in Andean countries*. Universitat Politècnica de Catalunya, Ingeniería Mecánica. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado el 05 de 11 de 2016, de <https://em.upc.edu/ca/noticies/nou-article-publicat-renewable-microgrid-projects-for-autonomous-small-scale-electrification-in-andean-countries>
- NÚÑEZ, O., ORTIZ, D., & PALMA-BEHNKE, R. (2013). MICROREDES EN LA RED ELÉCTRICA DEL FUTURO --- CASO HUATACONDO. *Ciencia y Tecnología*, 1-16.



TURBINAS HIDROKINÉTICAS UNA ALTERNATIVA PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA

Claudia Sánchez, Consultora en Innovación Tecnológica

Resumen — Es bien conocido que la generación eléctrica aprovechando las fuentes no convencionales de energía es una necesidad actual para el sostenimiento del medio ambiente y el aprovechamiento de recursos que tienen comportamientos cíclicos pero que son permanentes en todos los ecosistemas. Si bien es cierto la generación hidroeléctrica está consolidada como proceso de generación de energía eléctrica por medio de embalses y reservorios, existen oportunidades en corrientes de agua tales como los ríos y mares que podrían facilitar el desarrollo de un proceso de generación alternativo, con un recurso renovable. En el presente artículo se pretende sintetizar información relacionada con las turbinas hidrocínéticas como una de las tecnologías en desarrollo que podrían facilitar el aprovechamiento del recurso hídrico. Adicionalmente, se pretende identificar el nivel de madurez y el avance en el desarrollo de proyectos de las mismas, a nivel local e internacional

Palabras Clave — Máquinas Hidráulicas, Turbinas hidrocínéticas, generación de energía, fuentes no convencionales de energía.

1. INTRODUCCIÓN

Siendo la energía uno de los factores fundamentales para el desarrollo de las naciones, los procesos de generación hidroeléctrica, su eficiencia, optimización y control son importantes para garantizar la calidad de suministro y de prestación del servicio (Sánchez C., 2016). Con este propósito, se avanza en el desarrollo de alternativas que permitan el uso de las fuentes hidráulicas. Se han identificado dos métodos para generar energía a partir de flujos de agua. Uno es el conocido sistema de generación hidroeléctrica que busca el aprovechamiento de la energía potencial del agua que se encuentra almacenada en una represa; el otro método pretende aprovechar la energía cinética de las corrientes de ríos, mares o canales de irrigación, a partir de la captura de la mayor cantidad de masa de agua posible, que en este caso tendría como característica velocidades y presiones bajas (Güney & Kaygusuz, 2010).

Para convertir energía de una corriente de agua se han identificado variables fundamentales como la densidad y velocidad del fluido, al igual que el área de sección transversal a través de la cual podría ser realizada la conversión. Para ello, se han identificado como alternativas sistemas piezoeléctricos, de vibración inducida por vórtices, hidrodeshlizadores entre otros, para ser implementados en procesos de generación hidroeléctrica. Sin embargo, las turbinas, son actualmente la primera opción de tecnología para ser aplicado en el aprovechamiento de energía cinética (Khan, Bhuyan, Iqbal, & Quaicoe, 2009).

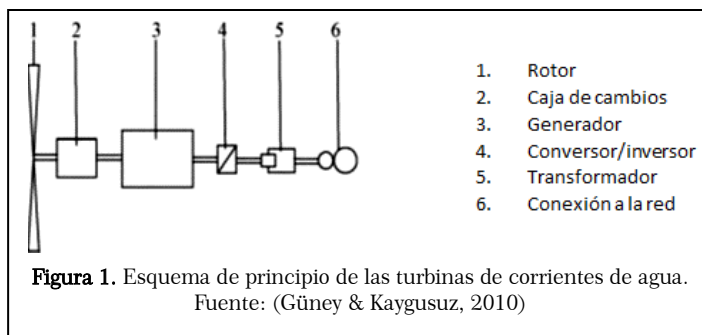
La generación de energía utilizando turbinas hidrocínéticas ha evolucionado y actualmente se encuentra en diferentes proyectos realizando pruebas con prototipos que según su nivel de avance podrían llegar a realizar pruebas con dispositivos a escala completa Laws et al, (2016). Sin embargo, el desarrollo de estas tecnologías requiere superar obstáculos como la optimización de las turbinas individuales con el propósito de facilitar su funcionamiento en forma matricial, así como es necesario hacer equilibrio entre el proceso de generación de energía y el impacto que generan estas intervenciones en el

ambiente (Laws & Epps, 2016), entre otros.

El presente artículo pretende hacer una revisión de los diferentes tipos de tecnologías que se han desarrollado alrededor de este concepto, el estado de madurez de los diferentes tipos de proyectos que están en desarrollo internacionalmente, así como una identificación de los desarrollos locales que se encuentran disponibles a la fecha.

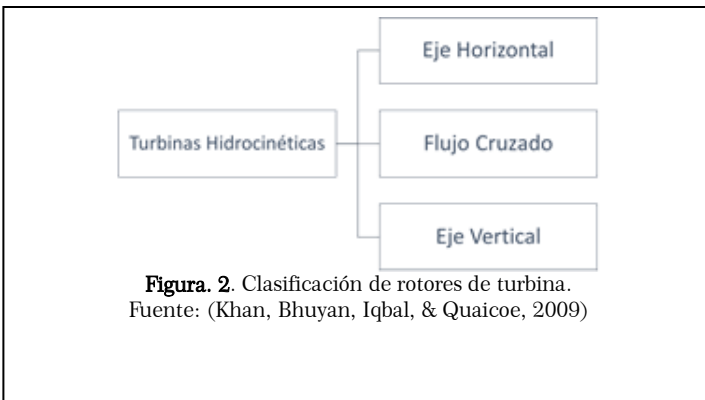
2. TURBINAS HIDROKINÉTICAS

Este tipo de máquinas hidráulicas extraen energía cinética de corrientes de agua en los océanos o ríos; trabajan con principios de operación similares a las turbinas de viento; la energía cinética de la corriente de agua se convierte en energía mecánica que produce la rotación de un generador, el cual a su vez produce la electricidad (Güney & Kaygusuz, 2010). La estructura general de este tipo de turbinas puede verse en la figura 1. Su capacidad de capturar energía cinética del flujo de agua las hace útiles para ser aplicadas como alternativa a las turbinas convencionales, dado que se utilizan en lugares con cabeza ultra baja. Los sistemas de turbinas cinéticas, utilizan la vía natural de las corrientes de agua, evitando la intervención en aspectos como en el desvío de agua a través de canales en los lechos de los ríos o la necesidad de tuberías.



3. CLASIFICACIÓN DE TURBINAS HIDROKINETICAS

Para realizar la clasificación de las turbinas cinéticas, se analiza primordialmente la estructura de la misma y la técnica que usa para aprovechar la corriente hídrica. Al comparar el eje del rotor con respecto al flujo del agua, se clasifican en Turbinas de Eje Horizontal, Turbinas de Eje Vertical y Turbinas de flujo cruzado (Ver Figura 2).



3.1. Eje Horizontal:

La aplicación de este tipo de turbina se presenta con mayor frecuencia en convertidores que utilizan las corrientes oceánicas para la generación. Desde el punto de vista conceptual y de diseño, son similares a las turbinas de generación eólica (Khan, Bhuyan, Iqbal, & Quaicoe, 2009).

El eje del rotor en este caso es paralelo a la corriente de agua (Güney & Kaygusuz, 2010) las cuales a su vez se clasifican dependiendo de la velocidad que genera el mayor o menor número de álabes (rápidas de máximo 3 álabes o lentas de máximo 24 álabes) (Birjandi, 2012). La estructura puede estar abierta o canalizada. Para este tipo de turbina, los conductos tienen generalmente forma cónica condicionando el montaje para operación bajo flujo unidireccional (Khan, Bhuyan, Iqbal, & Quaicoe, 2009)

3.2. Flujo Cruzado:

Son turbinas con el eje perpendicular a la corriente de agua y paralelo a la superficie. (Güney & Kaygusuz, 2010).

Está constituida por un rotor que se asemeja a un tambor, con una sección rectangular de boquilla elongada que es usada para dar dirección a la corriente del agua contra las paletas, las cuales se curvan de forma cilíndrica.

Este tipo de turbinas tiene mejor aplicación en flujos largos de agua y cabezas bajas, por cuanto permiten que el agua fluya en una primera etapa, hacia el interior de las cuchillas y en una segunda cruzando de adentro hacia afuera. La variación del flujo entre las dos etapas, genera pérdidas significativas de choque (Okot, 2013), razón por la cual este tipo de turbina es menos eficiente que las convencionales.

Este tipo de turbina presenta una carga cíclica que aumenta por efecto de su operación, incrementando por esta causa la fatiga en las cuchillas. Esta carga cíclica puede disminuir utilizando álabes helicoidales (Laws & Epps, 2016).

Este tipo de turbina, a su vez puede tener una sección transversal rectangular, facilitando su utilización en matrices de manera más eficiente que las turbinas de flujo axial de sección circular; adicionalmente, tienen la capacidad de generar potencia desde cualquier dirección de flujo perpendicular al eje, haciéndola eficiente para su utilización en corrientes marinas (Laws & Epps, 2016).

3.3. Eje Vertical:

Su eje de rotación es perpendicular a la dirección del agua, disposición que facilita la colocación de los demás mecanismos requeridos para la generación de energía (el generador, la caja de engranajes, cojinetes) sobre el nivel del agua.

Tiene una mejor aplicación cuando la cabeza es baja en comparación con las de eje horizontal, por lo tanto, pueden ser económica para una amplia gama aplicaciones (Birjandi, 2012).

3.4. Vórtice Gravitacional:

En este caso se utiliza el efecto vórtice (inducido artificialmente) para conducir una turbina vertical y de esa manera, generar energía (Khan, Bhuyan, Iqbal, & Quaicoe, 2009).

Es definida como la forma horizontal de represa hidroeléctrica, debido a la estructura que facilita la formación de vórtice artificial, con una corriente de agua que se acelera por efectos gravitacionales (Elbatrana, et al., 2015).

4. APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA - NIVELES DE MADUREZ

Fue realizada una búsqueda en la plataforma de proyectos de Fuentes No Convencionales de energía difundida por la DOE (U.S. Department of Energy), a continuación se muestran algunos casos de aplicación.

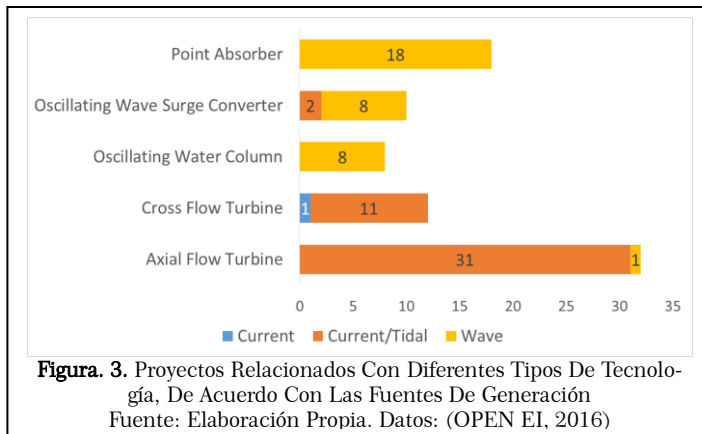
4.1. Proyectos en Ejecución

A partir de los datos recogidos y tratados, fue posible identificar diferentes proyectos en curso, relacionados con el desarrollo de tecnologías para conversión de energía, así como su uso de acuerdo con la fuente de generación de energía.

De los datos analizados se identificaron 85 organizaciones principales vinculadas a la ejecución de los proyectos. La mayor cantidad de desarrollos se están realizando en turbinas de flujo axial, seguido por una tecnología conocida como punto de absorción, que según la definición es un dispositivo similar a una boya, utilizado principalmente en los océanos por cuanto es "capaz de capturar energía desde un frente de onda mayor que la dimensión física del dispositivo" (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2009). En tercer lugar, en generación de proyectos, se encuentran las turbinas de flujo cruzado. En la

figura 3 se puede identificar el tipo de fuente para generación de energía vs el número de diferentes proyectos (OPEN EI, 2016).

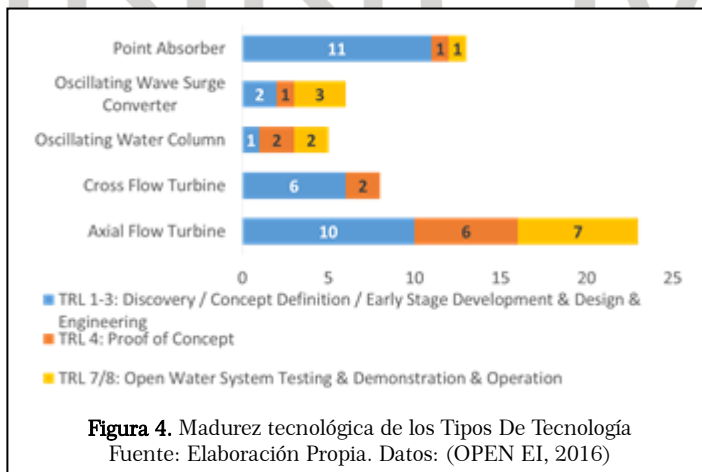
De los proyectos relacionados a partir de los datos de (OPEN EI, 2016), se logró identificar uno de ellos con resultado en patente concedida (US 9097233 B1), para un prototipo de turbina de flujo axial, que se encontraba para la época de consulta en etapa de prueba de concepto. El prototipo de turbina se identificó como SAHT (Suction-augmented hydropower turbine).



Otro de los proyectos es un prototipo de Aquamarine Power, el cual se encuentra en fase de prueba, demostración y test de sistema. En este caso, la publicación relevante corresponde a un documento técnico.

4.2. Madurez de la tecnología:

A partir de los mismos datos, se pudo establecer que las tecnologías desarrolladas en cada tipo de proyecto se encuentran en diferentes niveles de madurez, siendo el principal con número de desarrollos el TRL 1-3, que se encuentra definido entre las etapas de descubrimiento, definición de conceptos, y primeras etapas de diseño y desarrollo. En esta fase se encuentran 30 prototipos, cuya distribución por tecnología puede verse en azul en la Figura 4. En prueba de concepto se encuentran 12 prototipos y en proyectos demostrativos se identificaron 13 proyectos (ver Figura 4).



5. ESTADO DEL ARTE LOCAL

En Colombia se han identificado proyectos, que permiten incorporar tecnologías que se encuentran en fase de demostración. Tal es el caso de uno de los tres proyectos que se encuentran en fase comercial de la empresa alemana Smart Hydro Power GmbH, que se encuentra en ejecución en Salvajina (Valle del Cauca – Colombia), que identifica como colaborador a EPSA-CELSIA y está utilizando la tecnología SHP Duofloat.

En el caso de los grupos de investigación del sector académico, se encuentra un prototipo de turbina hidrodinámica de eje horizontal como resultado de un proyecto de investigación financiado y una tesis de maestría con el desarrollo de una turbina hidrocínética axial en el Grupo de Energía Alternativa, de la Universidad de Antioquia (COLCIENCIAS, 2016). Otros grupos reportan en la plataforma Scienti proyectos de pregrado para el desarrollo de turbina hidrocínética para zonas no interconectadas, como el ICT-Grupo de Investigación en Ingeniería, Ciencia y Tecnología, de la Universidad de Córdoba y el Grupo de Estudios y Aplicaciones en Ingeniería Mecánica GEAMEC de la Universidad de Santo Tomás.

También se identificaron trabajos de pregrado en Caracterización mecánica de una turbina hidrocínética de eje horizontal, del Grupo de Investigación en Modelado, Análisis y Simulación de Procesos Ambientales e Industriales, PAI+ de la Universidad Autónoma de Occidente.

Otros grupos de investigación han reportado publicaciones de artículos para aplicaciones específicas, como en el caso del grupo de Materiales Avanzados y Energía del ITM.

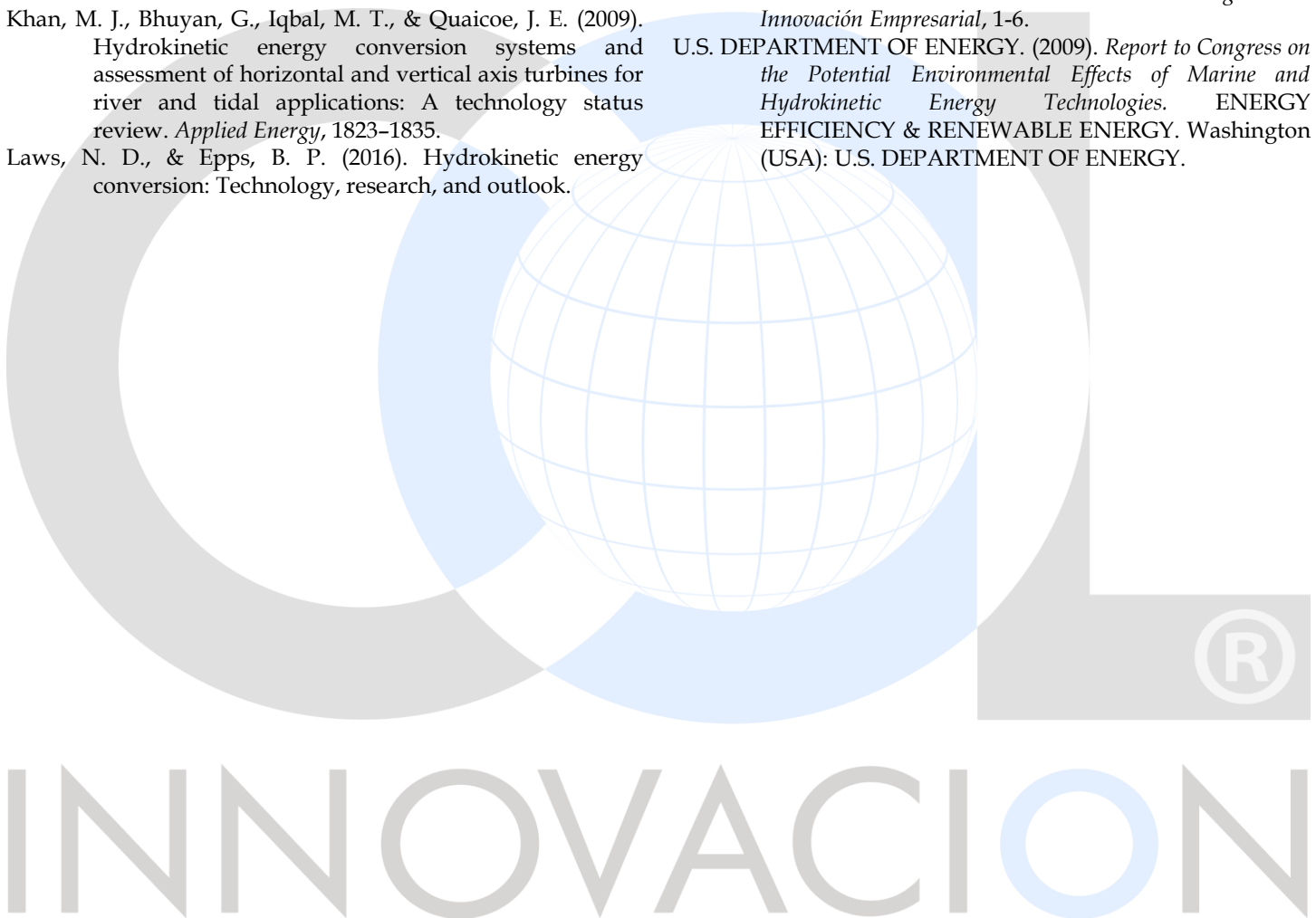
6. CONCLUSIONES

El aprovechamiento de fuentes no convencionales de energía se ha hecho una necesidad y por tanto, se están generando nuevas tecnologías que permitan explotar al máximo los recursos disponibles. En el caso de la generación hidroeléctrica, existe un predominio en la técnica actual de generación de energía a partir del aprovechamiento del potencial de energía en caídas de agua. Sin embargo, en recientes diseños se ha logrado proponer una alternativa para el aprovechamiento del recurso hídrico, principalmente, de la energía cinética de las corrientes.

Los desarrollos de turbinas hidrocínéticas en su mayoría se encuentran en etapas tempranas de madurez, de acuerdo con lo identificado a nivel internacional y a nivel local. Se espera, que la inversión en mayor número de proyectos que permita establecer las mejores alternativas para el aprovechamiento del recurso hídrico tanto de mares como de ríos, posibilite la identificación de las tecnologías más eficientes y con mejores resultados para la generación a través de turbinas hidrocínéticas.

BIBLIOGRAFÍA

- Birjandi, A. H. (2012). *Effect of Flow and Fluid Structures on the Performance of Vertical River Hydrokinetic Turbines*. Winnipeg (Ca): University of Manitoba.
- COLCIENCIAS. (2016). *Sitio Web Gruplac - Red Scienti - Colciencias*. Recuperado el 2016, de <http://scienti.colciencias.gov.co:8083/ciencia-war/>
- Güney, M. S., & Kaygusuz, K. (2010). Hydrokinetic energy conversion systems: A technology status review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 2996–3004.
- Khan, M. J., Bhuyan, G., Iqbal, M. T., & Quaicoe, J. E. (2009). Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: A technology status review. *Applied Energy*, 1823–1835.
- Laws, N. D., & Epps, B. P. (2016). Hydrokinetic energy conversion: Technology, research, and outlook. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1245–1259.
- Okot, D. K. (2013). Review of small hydropower technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 515–520.
- OPEN EI. (Mayo de 2016). *Marine and Hydrokinetic Technology Database*. [En línea]. Obtenido de Open Energy Information: https://openei.org/wiki/Marine_and_Hydrokinetic_Technology_Database
- Sánchez, C. (2016). DESGASTE DE MÁQUINAS HIDRÁULICAS EN LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA. *Desarrollo Tecnológico e Innovación Empresarial*, 1-6.
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. (2009). *Report to Congress on the Potential Environmental Effects of Marine and Hydrokinetic Energy Technologies*. ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY. Washington (USA): U.S. DEPARTMENT OF ENERGY.



GENERACION DE ENERGÍA DISTRIBUIDA Y SU EFICIENCIA EN LA CADENA DE VALOR DE LA ENERGÍA

[Juan C. Salavarrieta](#), Consultor en Innovación Tecnológica (COLINNOVACION)

Resumen — El termino generación distribuida (GD) o generación de energía eléctrica de manera descentralizada hace parte fundamental de los nuevos conceptos de generación, transmisión y distribución de energía que actualmente busca suplir las necesidades de ciudades inteligentes mediante una variedad de pequeñas fuentes de generación, instaladas cerca del consumidor. La generación distribuida mantiene una relación directa entre la micro generación y la generación de las centrales convencionales. La red al adaptarse a este tipo de distribución hace que la generación mantenga niveles de equilibrio y que la red inteligente no dependa tanto de grandes centrales o de centrales que generen mediante combustibles fósiles. Como valor adicional la micro generación involucra el aprovechamiento de fuentes no convencionales de energía, lo que reducirá las emisiones de CO₂.

Palabras Clave — Energía Distribuida, Smart Grid, micro generación.

1 INTRODUCCIÓN

El siguiente artículo busca describir de manera sencilla el concepto de energía distribuida y su relación con sistemas de micro generación, gestión de la demanda, Smart Grid y conceptos similares que permiten el desarrollo de cada vez más eficiencias en los sistemas de generación transmisión y distribución de energía.

La descripción de los sistemas anteriormente mencionados dan una pequeña visión de los componentes principales de la cadena de valor de la energía; su desarrollo e integración hacen parte de estudios avanzados fácilmente referenciados en la academia y que en la actualidad son un tema de gran exploración y estudio. De igual manera, se hará una pequeña introducción a la normatividad vigente del país en materia de desarrollo de sistemas de energía distribuida terminando con una serie de recomendaciones.

Teniendo en cuenta la realidad del país, se debe resaltar la importancia de su estudio ya que si bien existe una red de energía robusta a nivel nacional, es necesario hacer la transición a nuevas tecnologías que permitan llegar a zonas no interconectadas, aprovechar las fuentes no convencionales y renovables de energía, hacer más eficiente los sistemas de interconexión del país y mejorar las condiciones de los usuarios de energía eléctrica tanto a nivel residencial como empresarial.

2. DEFINICIÓN DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA

La generación distribuida ha sido definida de diferentes maneras y aunque no hay concepto definitivo, cabe anotar que hay componentes tecnológicos comunes a los cuales se aplica la definición como son: motores, micro-turbinas, pilas de combustible y energía solar fotovoltaica. A continuación se describirán algunas definiciones más usadas:

- La Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2002), define a la generación distribuida como la producción de energía en las instalaciones de los consumidores o de las empresas distribuidoras, suministrando energía directamente a la red, en baja tensión.
- El Consejo Internacional sobre Grandes Sistemas Eléctricos (CIGRE) define la Generación Distribuida como todos los componentes técnicos que permitan generar energía eléctrica con una capacidad máxima entre 50 MW a 100 MW, conectados a la red de distribución local, que no están diseñados ni operados de forma centralizada. Lo que implica que la Generación Distribuida hace parte del control del operador de la red eléctrica de transporte central.
- Una de las definiciones más aceptadas por la academia es la de (Ackermann, Andersson, & Soder, 2001). Estos autores definen a la Generación Distribuida de acuerdo con su propósito, ubicación, potencia, tecnología, impacto medioambiental, modo de operación, propiedad y penetración de la misma.

Sin embargo, se prioriza el propósito de la Generación Distribuida y su ubicación, proponiendo la siguiente definición: “Generación Distribuida es una fuente de potencia eléctrica conectada directamente a la red de distribución o en las instalaciones de los consumidores” de (Ackermann, Andersson, & Soder, 2001).

En términos generales, se deben tener en cuenta los siguientes conceptos adicionales al momento de definir la Generación Distribuida (GD):

- La GD maneja un nivel de baja potencia y su ubicación se encuentra en puntos cercanos al consumo.
- Debe estar conectada a la red de distribución.
- Una finalidad de la GD es que parte de la generación sea consumida por la misma instalación que la genera y el resto se exporte a una red de distribución.
- La potencia del sistema suele ser menor de 50 MW.

Al igual que el concepto de Generación Distribuida y enmarcado en este, se usa el concepto Recurso de Energía Distribuida DER (Distributed Energy Resource) el cual agrupa tanto la Generación Distribuida como el almacenamiento de Energía, la figura No. 1 refleja el cómo se distribuiría un proyecto DER.

- Principalmente, los sistemas de GD reducen las pérdidas en la red eléctrica. Estar más cerca del consumidor permite que las redes de transporte sean más cortas. Por esta causa, la generación distribuida propone menos pérdidas de energía en el transporte de la electricidad desde la generación hasta el consumidor, lo cual incluye el ahorro a la hora de elevar la tensión eléctrica para su transporte.
- Mejoran la eficiencia y la calidad del sistema eléctrico, debido a que hay pequeñas fuentes de generación (microgeneración), repartidas por el territorio, lo que ocasiona que el fallo de una de las fuentes no genere problemas de confiabilidad para el sistema eléctrico.
- Potencia reducida. Los sistemas de microgeneración que componen la GD suelen tener potencias inferiores a 3 kW Sin embargo se han aumentado sus niveles de potencia hasta 10 kW de potencia instalada.
- Adaptación a fuentes de energía renovables. Con la GD es posible aprovechar de mejor manera la generación por medio de fuentes de energía renovables.

3. MICRO GENERACIÓN

La micro generación está compuesta por micro redes cuya estructura consiste en un sistema localizado de generación eléctrica que tiene la capacidad de trabajar independiente de una red central, haciéndola autónoma.

El sistema lo conforman diferentes tecnologías de generación energética (DER), combinando diferentes fuentes de generación de energía, tanto renovable como por combustibles fósiles. Las redes de transmisión y distribución funcionan conectando al sector residencial comercial y productivo a fuentes de energía centralizada, lo que permite usar aparatos, sistemas de calefacción / refrigeración y electrónicos bajo un flujo de carga constante.

Generalmente, una microred puede funcionar estando conectada a una red de generación – transmisión central, pero, en caso de alguna eventualidad, esta conexión puede interrumpirse y funcionar por sí misma, utilizando la generación de energía localizada. En esto radica la importancia de una microred.

Una microred puede ser alimentada por generadores distribuidos, baterías y/o recursos renovables como paneles solares o aerogeneradores. Dependiendo de cómo se alimenta y cómo se gestionan sus requisitos.

El desarrollo de este tipo de tecnologías lograría importantes beneficios medioambientales, al igual que eficiencias de carácter técnico mencionadas anteriormente, haciendo más sencilla y eficiente la coordinación entre los diferentes actores de la cadena de valor energética. La figura No. 2. Hace referencia a la evolución de ese tipo de relaciones.

El objetivo de este tipo de sistemas, consiste en flexibilizar la relación de oferta y demanda energética a lo largo de la red, reducir la afectación de los cortes eléctricos generales, optimizar los costos de la cadena de valor de la energía y abastecer

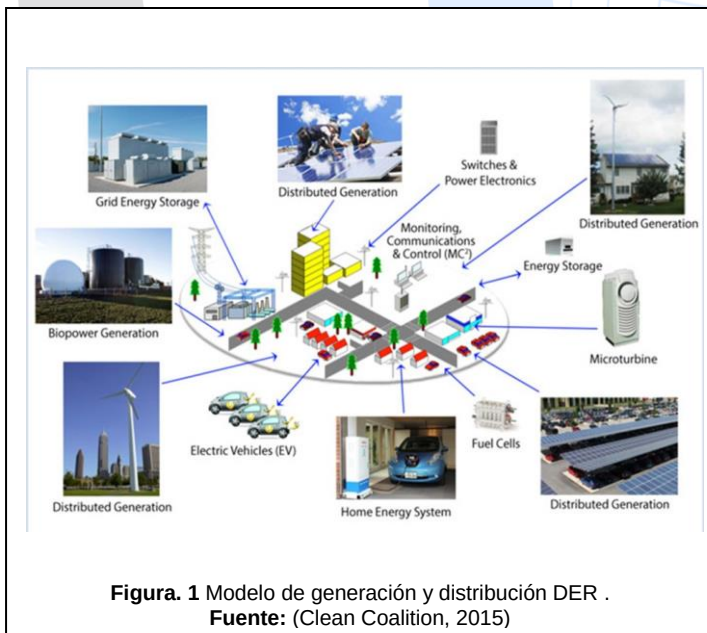
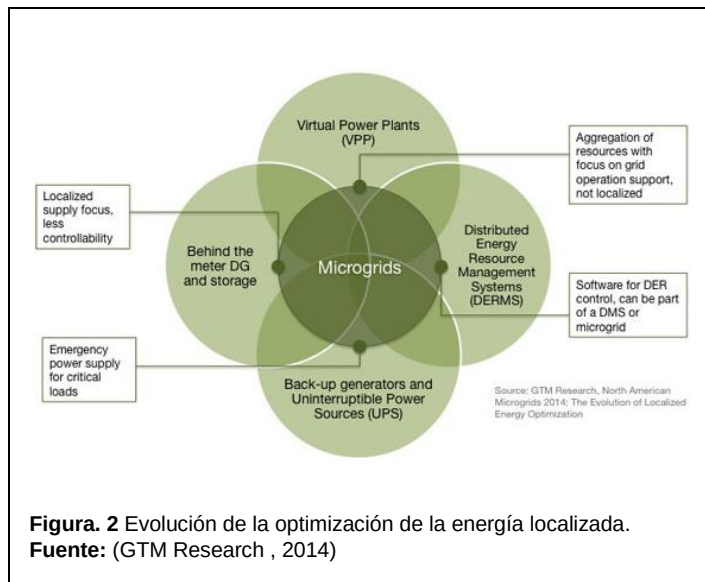


Figura. 1 Modelo de generación y distribución DER .
Fuente: (Clean Coalition, 2015)

2.1 Características de la generación distribuida

Hasta ahora se han tenido en cuenta las definiciones de la GD. A continuación se enunciarán las principales características que reflejan su importancia en la estructuración de proyectos de energía en la actualidad (GTM Research , 2014) (Clean Coalition, 2015).

de energía eléctrica en zonas de difícil acceso con líneas convencionales entre otros. Este tipo de “ecosistemas energéticos” permiten diseñar y desarrollar de forma más eficiente el consumo eléctrico de múltiples subsistemas, como núcleos de población, centros industriales o, incluso, zonas rurales (GTM Research, 2014).



4. SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA DEMANDA

Los sistemas de gestión de la demanda consisten en el conjunto de acciones, ya sean promovidas por las empresas de generación y/ o transmisión eléctrica, o instituciones de gobierno, cuyo objetivo radica en influir en el comportamiento que los consumidores hacen de la electricidad, de forma que se produzcan cambios en el consumo, tanto para producir un ahorro de energía como para incrementar la eficiencia, ya sea en el ámbito individual como en la curva de demanda agregada (Pérez, Sánchez, & Pardo, 2005).

Los sistemas asociados con la gestión de la demanda son una de las aplicaciones que mejor se adapta a la interacción que ocurre entre el distribuidor y el consumidor de acuerdo con lo definido en las premisas de las redes inteligentes (Yingxin, 2013). Esto permite controlar los picos de demanda de energía a través de incentivos económicos o en algunos casos, se pueden tomar medidas coercitivas como el aumento del precio de la energía en horarios pico de demanda para trasladar esos consumos pico a horas valle y así optimizar el uso de la infraestructura eléctrica (Shen, 2015).

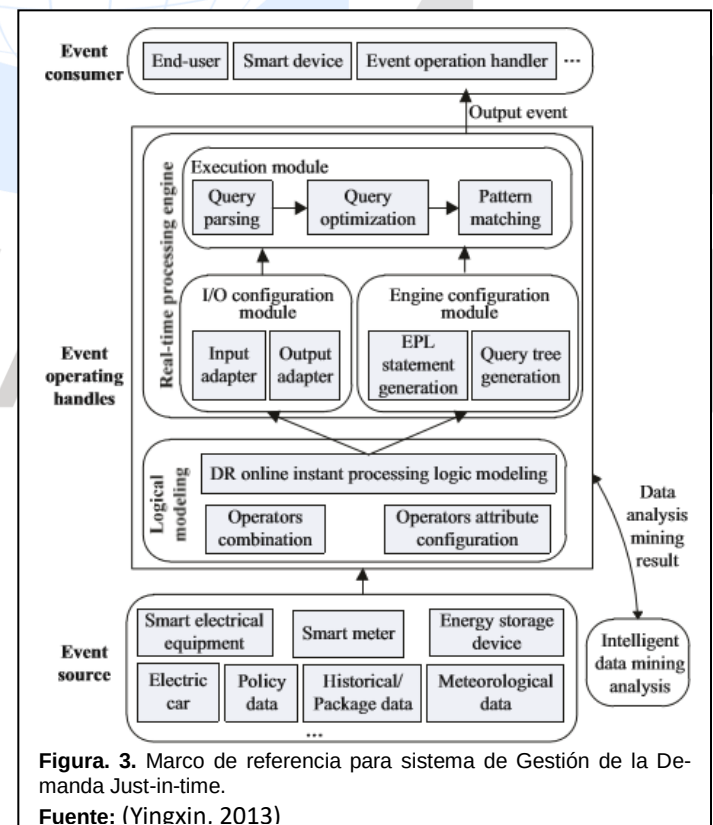
Los sistemas de gestión de la demanda deben permitir una ejecución en tiempo real como la propuesta realizada por (Yingxin, 2013) para tomar decisiones de justo a tiempo por parte de los operadores, con el fin de lograr un sistema de gestión de electricidad más sofisticado al lado de la demanda. Esto se logra a través de plataformas informáticas sincronizadas con los medios de medición inteligente y el uso de sistemas informáticos para el procesamiento de eventos complejos (PEC).

Para consolidar el sistema de gestión de la demanda, es necesario alinear varios modelos de análisis con las fuentes de información de consumos de energía eléctrica. Entre los modelos que se deben tener en cuenta se tiene al modelo en tiempo real de monitoreo estadístico de consumo eléctrico y el modelo de pronóstico de carga de demanda en tiempo real, estos modelos proveen información suplementaria para la toma de decisiones de los sistemas de gestión de la demanda. En caso de que la red de distribución eléctrica cuente con sistemas de almacenamiento de energía o recursos renovables, se debe integrar modelos estadísticos de generación o almacenamiento, así como modelos de predicción (Yingxin, 2013)

El sistema de gestión de la demanda, requiere del procesamiento de un alto volumen de información en eventos, proveniente de varias fuentes como son los medidores inteligentes, equipos eléctricos inteligentes, sensores de temperatura, entre otros. A continuación se describe un tipo de sistema de gestión de demanda que incluye los componentes básicos y los diferentes participantes del proceso.

4.1 Descripción del sistema de gestión de demanda

La capa central es el centro del procesamiento del sistema de gestión de demanda donde se encuentra el proceso lógico del modelo de negocio y el motor de procesamiento de información. Esta capa es la encargada de analizar y diseñar la lógica de procesamiento de eventos a través de varias etapas como la combinación lógica de operaciones numéricas y atributos de configuración. El motor de procesamiento instantáneo contiene dispositivos que procesan la información de entrada y salida para gestionar las operaciones de gestión de la demanda (Yingxin, 2013).



La capa de eventos en el consumidor se encarga de recibir los resultados del procesamiento de eventos (eventos de salida) y reaccionar a ellos. Esta información de salida puede ser re-procesada como datos de entrada para procesos automáticos de respuesta según esquemas programables o pueden ser enviados al consumidor final a través de sistemas adaptativos o sistemas externos, por ejemplo, teléfonos inteligentes entre otros, con los cuales el usuario pueda responder y cambiar sus patrones de demanda.

La figura 3 describe un sistema de gestión de Demanda básico, desde el lado del consumidor, la manera de operación (en tiempo real), y la fuente.

5. EJEMPLOS EN COLOMBIA

En el país se han hecho esfuerzos tanto reglamentarios como técnicos por parte del gobierno y la empresa privada que permitan la aplicación de sistemas de gestión de demanda, los cuales buscan derribar las barreras que no permiten su adopción tales como:

- La tendencia a privilegiar los sistemas de generación y transmisión centralizados.
- Marcos regulatorios que no fueron concebidos considerando la GD, sino para una generación central.
- Potencias de energía eléctrica, bajas y fluctuantes.
- Conflictos técnicos entre la cadena de valor de energía.

Por parte de la empresa privada se encuentran ejemplos como el de EPSA la cual se enfocó en el desarrollo de modelos de negocio innovadores, principalmente, en los campos de energía distribuida, eficiencia energética y transporte eléctrico (EPSA, 2015). En cuanto a energía distribuida, se logró llevar con éxito este producto innovador al mercado, al firmar los primeros contratos a largo plazo para venta de energía fotovoltaica, tales como:

- Unidad residencial Frayle de Ciudad Santa Bárbara (Palmira, Valle del Cauca): instalación de un generador fotovoltaico de 51,2 kWp.
- Universidad Autónoma de Occidente (Cali, Valle del Cauca): contrato de venta de energía limpia fotovoltaica a 25 años con la instalación de 152 kWp.
- Urbanización Océano Verde (Jamundí, Valle del Cauca): contrato de venta de energía limpia fotovoltaica a 25 años con la instalación de 8 kWp.

De las medidas tomadas por la institucionalidad nacional, se pueden identificar principalmente las siguientes:

El documento “Estándares, Arquitecturas y Normativas de las Nuevas Tecnologías para la Gestión de la Distribución” remitido a la CREG por el C.N.O (7 de marzo 2014) el cual describe como la evolución tecnológica de la industria eléctrica y en especial del sector eléctrico colombiano está mostrando tendencias hacia sistemas de generación distribuida, los cuales tendrán impacto en la planificación y operación de una red cada vez más moderna e inteligente.

La ley 697 de 2001 (ProURE) que incentiva la eficiencia energética, la norma ISO 50000 que promueve los sistemas de calidad en gestión energética.

La ley 1715 la cual promueve a la gestión eficiente de la energía, la cual incluye tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda y la generación distribuida con fuentes de energía renovables.

A principios del año 2016 se oficializó el “Mapa de Ruta de redes inteligentes 2030” para Colombia donde se destaca como objetivo, la diversificación de la canasta energética con penetración de nuevas Fuentes de Energía Renovables, lo que implica promover las nuevas tecnologías DER las cuales poseen un conjunto de funcionalidades claves que incluyen para este caso la Generación Distribuida y el Almacenamiento de Energía. La incursión de estas tecnologías y sus funcionalidades según el estudio se estima que tenga una penetración entre el 1 y el 2,5 % del total de la potencia instalada para el año 2030 (UPME, 2015).

6 CONCLUSIONES

Es fundamental que el país haga su transición hacia el establecimiento de sistemas de energía distribuida, acompañada de iniciativas que promuevan sistemas de Gestión de Demanda, Microgrids, Smartgrids y demás tecnologías que hagan inteligente la cadena de valor de la energía.

Es necesario tener mayores incentivos por parte del Estado, y estos tienen que ir más allá de subvenciones y beneficios fiscales. En lo posible se debe facilitar un ambiente propicio para la creación de un mercado que motive a inversionistas a desarrollar proyectos en el país.

Un aspecto técnico a tener en cuenta es la segmentación de las tecnologías de control asociadas con las microgrids. Existe una gran complejidad en la integración de sistemas que por lo general tienen tecnologías propietarias que impiden la integración de sistemas incrementando costos y generando poca flexibilidad el momento de desarrollar modernizaciones.

A pesar de este escenario, existe una voluntad por parte del Estado y de la empresa privada, que muestra una hoja de ruta hacia el desarrollo de proyectos que integren sistemas de energía distribuida.. Dichos proyectos tendrán relevancia en los siguientes años, marcando la tendencia que llevará a que el sueño de tener ciudades inteligentes sea una realidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Ackermann, T., Andersson, G., & Soder, L. (2001). *Distributed generation: a definition*. Electric Power Systems Research.
- Clean Coalition. (2015). *An Overview of Distribution Resources Planning*. Menlo Park.
- CNO . (2014). *Estándares, Arquitecturas y Normativas de las Nuevas Tecnologías para la Gestión de la Distribución*. Bogotá: N. 2196 (CREG).
- EPSA. (2015). *Innovacion*. Obtenido de Sitio web de EPSA : <http://www.celsia.com/es/eficiencia-energetica>
- GTM Research . (2014). *North American Microgrids 2014: The Evolution of Localized Energy Optimization (review)*. Boston : greentechmedia.
- Ley 1715 de. (2014). *Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional*. Bogotá, Colombia: Congreso de Colombia.
- Pérez, J., Sánchez, L., & Pardo, M. (2005). *La gestión de la demanda de electricidad vol. I*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Shen, J. J. (2015). Controllable load management approaches in smart grids. *Energies*, 8(10), 11187-11202.
- UPME. (2015). *Plan de expansión de referencia generación-transmisión 2015-2029*. Bogotá: Unidad de Planeación Minero Energética. Bogotá D.C.: Unidad de Planeación Minero Energética. Obtenido de http://www.upme.gov.co/Docs/Plan_Expansion/2016/Plan_Expansion_GT_2015-2029/Plan_GT_2015-2029_VF_22-12-2015.pdf
- UPME. (2015). *Boletín Estadístico de Minas y Energía 2010-2015*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía.
- UPME. (2015). *INFORME MENSUAL DE VARIABLES DE GENERACIÓN Y DEL MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO - DICIEMBRE DE 2015*. Bogota, Colombia: Ministerio de Minas y Energía.
- U.S. Department of Energy. (02 de 02 de 2014). *Science & Innovation » Energy Efficiency*. Obtenido de Energy.gov: <https://energy.gov/science-innovation/energy-efficiency>
- XM. (2016). *Capacidad Efectiva Mercado Electrico Colombiano*. Bogota: XM. Obtenido de <http://www.xm.com.co/Pages/DescripciondelSistemaElectricoColombiano.aspx>
- Yingxin, X. F. (2013). Just-in-time decision of demand respond based on complex event processing technology. *Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC)*, 353-357.





(57) +1 6725048
(57) 315 796 6545



Carrera 20 No 184 - 48 Local 4
Bogotá D.C., Colombia.



gzamudio@colinnovacion.com
contacto@colinnovacion.com



www.colinnovacion.com