

Microredes: Una Revisión del Estado Actual

Héctor F. Cárdenas C. ^{#1}, Francisco A. Moncayo M. ^{#2}, Johnny Posada C. ^{#3} Jaime Quintero R. ^{#4}

^{# 1-3} *Automation and Electronic Department, Universidad Autónoma de Occidente*

^{# 4} *Energy and Mechanics Department, Universidad Autónoma de Occidente
Cll 25 # 115 – 85 Km 2 vía Cali – Jamundí, Valle del Cauca, Colombia*

¹ hfcc85@hotmail.com

² francisco0416@gmail.com

³ jposada@uao.edu.co

⁴ jquintero@uao.edu.co

Abstract— The different changes in the world, such as global warming, the increased emissions of harmful gases to health and to the environment, and the increased energy demand because of world population growth, have led to reevaluate certain forms to produce energy, giving way to new generation systems, where sources of alternative and renewable energy play a key role. In this way, microgrids are presented as the best alternative to these energy challenges. This article presents an overview of the state of the art of microgrids, including its definition, components, classification and representative cases worldwide, as well as the progress, obstacles and challenges that have been identified.

Resumen— Los diferentes cambios en el mundo, como el calentamiento global, el aumento de las emisiones de gases nocivos para la salud y el medio ambiente, y el incremento de la demanda energética a causa del crecimiento demográfico mundial, han llevado a que se reevalúen ciertas formas de producir energía, dando paso a que se gesten nuevos sistemas de generación, donde las fuentes de energía alternas y renovables tienen un papel fundamental. En este sentido, las microredes se presentan como la mejor alternativa frente a estos retos energéticos. El presente artículo muestra un panorama general del estado del arte de las microredes, incluyendo su definición, sus componentes, clasificación y casos representativos a nivel mundial, así como los avances, obstáculos y desafíos que se han identificado.

I. INTRODUCCIÓN

Satisfacer la creciente demanda de energía ha sido un desafío para la humanidad, junto con la tendencia mundial por el uso de energías que no produzcan gases de efecto invernadero, lo que ha llevado a buscar nuevas alternativas, dando lugar a un escenario ideal para la aplicación de las tecnologías de generación distribuida (GD), como paneles fotovoltaicos, aerogeneradores, hidroturbinas, biomasa, entre otros. Estas tecnologías generalmente se usaban como fuentes complementarias independientes una de otra; sin embargo con el avance tecnológico y el creciente auge de las energías renovables se han empezado a implementar sistemas que permiten integrar estos recursos energéticos distribuidos (DER) en microredes.

Una microred se puede ver como una red a escala que integra recursos renovables, fuentes de energía tradicionales con sistemas de almacenamiento distribuidos y sistemas de gestión de la energía. Las microredes pueden funcionar interconectadas a una red principal, pero también pueden hacerlo de forma aislada o independientemente, esta característica se conoce como funcionamiento en isla [1].

Existen muchas ventajas al integrar recursos energéticos distribuidos (DER) a una microred, además de aumentar la oferta de energía, permite llegar a lugares aislados que no están conectados a la red principal, permite realizar un mejor monitoreo y control de la calidad energética, así como disminuir los costos de producción, y reducir el riesgo de pérdida de alimentación eléctrica gracias a que no depende exclusivamente de una red principal. Por medio de la implementación de una microred, las empresas de servicios públicos locales pueden realizar trabajos de mantenimiento, así como reparaciones en la red principal sin afectar la carga de los usuarios.

En los últimos años las microredes están pasando de la fase experimental a la real, muchos proyectos piloto están surgiendo por todo el mundo [2]. Aunque la tecnología de microredes está llegando finalmente a su fase comercial, aún hay desafíos que superar.

II. ¿QUÉ ES UNA MICRORED?

En general el concepto de microred puede variar levemente según sea el contexto y la aplicación en que se utilice; sin embargo hay dos conceptos ampliamente aceptados que integran el concepto fundamental, los cuales se presentan a continuación:

A. El Grupo de Intercambio de Microredes (MEG)

Una microred es un conjunto de cargas y recursos energéticos distribuidos interconectados, dentro de unos límites eléctricos claramente definidos que actúan como una única entidad controlable con respecto a la red. Una microred puede conectarse y desconectarse para su funcionamiento tanto conectada a la red o en modo “Isla” [3].

B. IEEE

Una microred es una parte del sistema eléctrico de potencia que tiene las siguientes características: (1) contiene carga y recursos distribuidos (como GD, elementos de almacenamiento o cargas controlables); (2) tiene la habilidad para operar conectada y aisladamente de la red de suministro; (3) incluyen sistemas eléctricos de distribución o partes de sistemas eléctricos de potencia, y (4) son intencionalmente planeadas [4].

C. Christine Schwaegerl and Liang Tao

Las microredes comprenden sistemas de distribución de baja tensión con los recursos de energía distribuida (DER)

(microturbinas, combustible, células, fotovoltaicas, etc.) junto con los dispositivos de almacenamiento (volantes, condensadores de energía y baterías) y cargas flexibles. Dichos sistemas pueden funcionar de manera no-autónoma, si están interconectados a la red, o de manera autónoma, si se desconecta de la red principal [5].

III. COMPONENTES DE UNA MICRORED

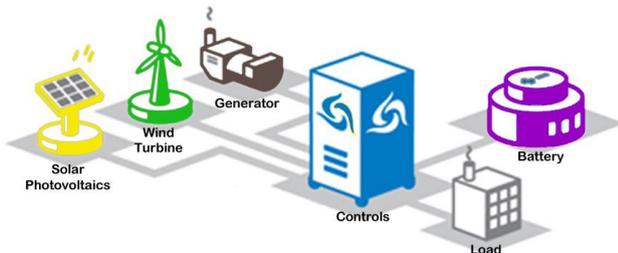


Fig. 1. Esquema básico de una microred [6].

Hay una gran variedad de componentes que integran una microred dependiendo de su tipo, objetivo y fuentes; sin embargo se pueden encontrar siempre los siguientes componentes comunes:

A. Sistema de Generación Distribuida (DG)

A diferencia de las redes convencionales, las microredes utilizan diversos tipos de fuentes de energía que por lo general son renovables, y se encuentran distribuidas dentro de las mismas. Como consecuencia, las fuentes de generación se encuentran más cercanas a los usuarios finales, lo cual disminuye los costos del transporte de la energía, y facilitan el monitoreo y control garantizando un mejor control de calidad de la energía.

Los componentes más comunes son: aerogeneradores, hidroturbinas, paneles fotovoltaicos, generadores diésel, entre otros.

B. Sistemas de Almacenamiento Distribuido (DS)

Las microredes usan sistemas de almacenamiento de energía para garantizar la continuidad en el abastecimiento de las cargas, así cuando la producción supera la demanda, el excedente de energía es almacenado en baterías para ser usado posteriormente. Al igual que en la generación, las microredes dan la posibilidad de que estos sistemas estén distribuidos a través de la microred.

Los tipos de baterías más comunes son las de litio, AGM, de gel, tubular estacionaria, entre otras.

C. Componentes Activos (Cargas)

Los tipos de cargas pueden variar de acuerdo la capacidad y finalidad de la microred, pero por lo general se encuentran cargas como calentadores de agua, bombillos, televisores, computadores, cargadores, entre otros.

D. Sistema de Control

Una parte fundamental de las microredes es el sistema de control, el cual permite gestionar y supervisar el flujo de energía, y la red física que conecta todos los componentes, de forma centralizada o distribuida, retroalimentando el sistema con sensores y actuadores mejorando la calidad, estabilidad, fiabilidad de la red.

Existen diferentes tipos de control, pero el más usado es el SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Se trata de un software que permite supervisar y controlar el flujo de electricidad de la microred en tiempo real.

IV. TIPOS DE MICRORED

Existen diferentes tipos de microred, las cuales se pueden clasificar en cuatro grandes grupos:

A. Microredes Institucionales

Actualmente este segmento representa un gran porcentaje de las microredes en el, debido a que todos sus componentes se encuentran muy cerca unos de otros, y a que es más fácil controlarla, se requiere sólo de un grupo pequeño de personas o incluso una sola persona que tome las decisiones, de este modo se evitan muchos obstáculos normativos [7].

Dentro de las microredes institucionales las más destacadas son las que se encuentran instaladas en los campos universitarios, bases militares y con fines comerciales e industriales.

1) *Microredes en Campos Universitarios:* Para el 2009 las microredes instaladas en campus universitarios estadounidenses generaban 322 MW, las microredes de más alta tecnología se encuentran en este sector. Desde el 2009 este sector ha tenido un crecimiento del 40%, agregando 940 MW de nueva capacidad, valorada en \$2760 millones de dólares [8].

2) *Microredes en Bases Militares:* Este tipo de microredes se están desarrollando activamente con un especial enfoque en la seguridad de las instalaciones militares con el fin de asegurar energía confiable sin depender de la Macrored. Este segmento también incluye microredes móviles para operaciones avanzadas en bases como por ejemplo en Afganistán [7].

3) *Microredes en Comerciales e Industriales:* Este tipo de microredes están madurando rápidamente en América del Norte y Asia-Pacífico; sin embargo la falta de normatividad las limita [7]. La primera microred industrial "moderna" en los Estados Unidos fue una instalación de 64 MW construida en 1955 en el Whiting Refinería en Indiana. Japón es un líder moderno en el sector comercial / industrial, aunque la mayor parte de su Microredes incluyen clientes institucionales, gubernamentales y otros [8].

B. Microredes en Zonas No Interconectadas

Este tipo de microredes se encuentran desconectadas de la red principal eléctrica, es decir que funcionan permanentemente en modo "Isla", generalmente se usan en lugares remotos de difícil acceso o simplemente donde la red principal no ha llegado. Usualmente se usan generadores diésel, aerogeneradores, entre otros [7].

Este segmento representa el mayor número de microredes que actualmente operan a nivel mundial, pero tiene la capacidad media más baja. Mientras que muchos sistemas históricamente han funcionado con generadores diésel, el tipo de generación que está creciendo más rápidamente es la fotovoltaica y las turbinas pequeñas de viento se proyectan para desempeñar un papel cada vez más relevante [8].

La compañía BC Hydro está trabajando en un proyecto en Bella Coola, Columbia Británica, donde se está

desarrollando una microred con el objetivo de reducir el consumo de combustible diésel mediante la integración de paneles fotovoltaicos, aerogeneradores, e hidroturbinas ubicadas en un río [9].

C. Microredes Residenciales

La palabra "comunidad" implica una región geográfica que incluye a los clientes residenciales. La mayoría de los investigadores predicen que esta clase de microredes no logrará aceptación comercial generalizada hasta que los estándares estén en su lugar y se eliminan las barreras reglamentarias [8]. Estas microredes pueden funcionar conectadas o no a la red.

D. Microredes en Laboratorios

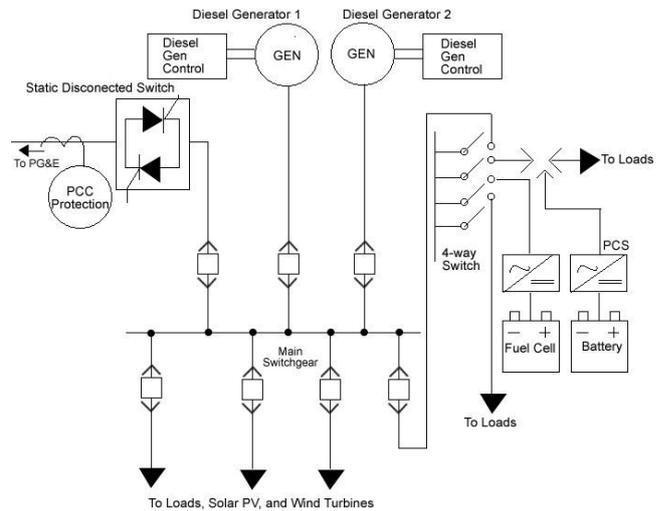
Las microredes en laboratorios se usan de manera experimental y/o con fines académicos. En muchos casos, de las microredes de laboratorio surgen las de otros tipos, ya que en estos casos se diseñan orientadas a aplicarlas en instituciones y residencias.

V. EJEMPLOS DE APLICACIÓN DE LA MICRORED

A nivel mundial el número de microredes va en aumento así como su fiabilidad y capacidad. A continuación se enuncia un ejemplo relevante de cada tipo de microred:

A. Microred de la Cárcel de Santa Rita - EEUU

La Cárcel de Santa Rita ubicada en el condado de Alameda dispone de una de las más avanzadas microredes del mundo. Debido a que los múltiples dispositivos de seguridad de la prisión deben funcionar continuamente, el gobierno local se preocupó por instalar un sistema que le permita continuar operando incluso cuando hay daños en la red eléctrica principal. Por esto a partir del año 2001 se han venido implementando sistemas de generación de electricidad, pero fue hasta el 2012 cuando se implementó una microred con un costo final de 11'700.000 dólares [10], proyecto que encabezó la compañía Chevron Energy. El sistema cuenta con generación distribuida de la siguiente forma: paneles fotovoltaicos que aportan 1.2 MW, una pila de combustible de 1 MW, cinco turbinas eólicas cada una de 2.3 kW y dos generadores diésel de emergencia, cada uno con una capacidad de 1.2 MW [11]. Además cuenta con un sistema de administración del almacenamiento PureWave desarrollado por la compañía S&C Electric, Cabe anotar que todos estos componentes son integrados y gestionados desde un sistema de control y monitoreo CERTS. La compañía estadounidense Encorp desarrolló los algoritmos para el sistema de seguimiento y controles integrados, el cual ayuda a controlar diariamente los más de 2 MW de demanda energética de la cárcel equilibrando la generación propia y la energía de la red principal para producir energía estable. Aunque la microred de la prisión es autónoma, es decir que puede funcionar en modo aislado, también lo hace conectada a la red eléctrica principal; si esta llega a experimentar un pico de demanda muy alto, la microred puede venderle su excedente energético. Se espera que el sistema instalado en la Santa Rita Jail genere un ahorro de 100.000 dólares anuales en gastos de electricidad [12].

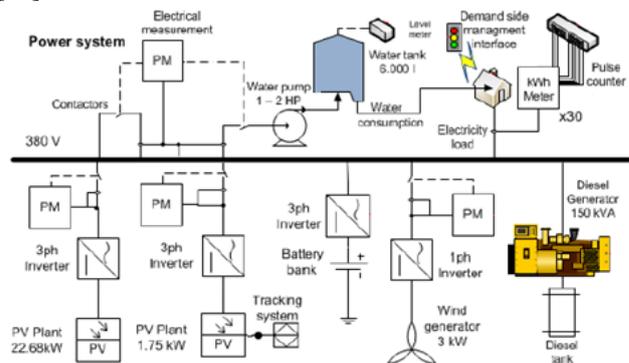


PCC: Point of Common Coupling; GEN: Generator; PCS: Power Conversion System; PG&E: Pacific Gas and Electric.

Fig. 2. Diagrama microred Cárcel de Santa Rita.

B. Microred ESUSCON en Huatacondo - Chile

La universidad de Chile en conjunto con la compañía minera Collahuasi desarrollaron la primera microred que funciona como isla en Huatacondo – Chile. Se trata de una comunidad aislada ubicada en la Cordillera de los Andes, en la cual viven aproximadamente 150 personas, en su mayoría mineros. Antes de la instalación de la microred, la comunidad tenía su propia red eléctrica que operaba de forma independiente de la red principal de Chile, la cual funcionaba con un generador diésel que aportaba sólo 10 horas al día de electricidad a sus habitantes. El proyecto ESUSCON buscaba integrar el ya instalado generador diésel a la nueva microred, que además estaría alimentada por generación distribuida (DG) con paneles fotovoltaicos y turbinas eólicas. Finalmente el proyecto fue terminado en 2011, brindándole a la comunidad 24 horas de energía eléctrica. Actualmente la microred cuenta con 84 paneles solares que aportan 22.68 kW, una turbina eólica de 3 kW, un generador diésel de 120 kW, 96 baterías de plomo ácido y un puesto de control. El control de la microred se realiza mediante un sistema conocido como SCADA por sus siglas en inglés (Supervisory Control and Data Acquisition), un sistema informático para recolección y análisis de datos en tiempo real con interfaces HMI (Humano – Máquina - Interfaz) y el objetivo de facilitar la interacción entre usuario y sistema [13].

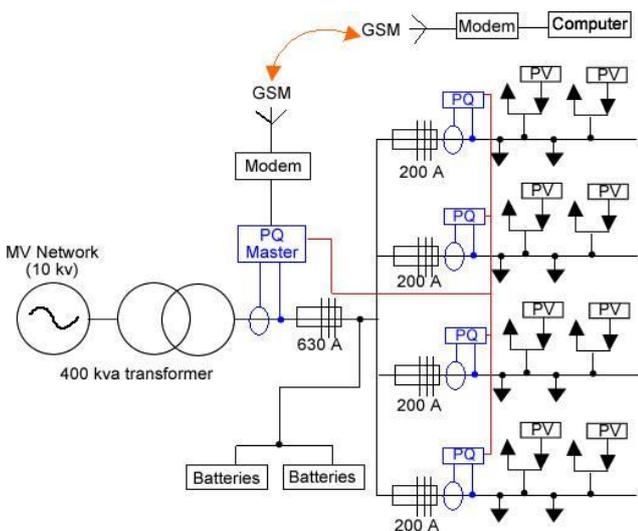


PM: Power measurement ;PV: Photovoltaic.

Fig. 3. Diagrama microred ESUSCON.

C. Microred de Bronsbergen Holiday Park - Holanda

Bronsbergen Holiday Park Microgrid fue la primera microred en Holanda orientada al consumo residencial, este sector cuenta con 208 casas de las cuales 108 tienen instalados paneles solares en sus techos, que forman parte del sistema de generación y tiene una capacidad de producción pico de 315 kW, aunque sólo tiene una carga pico de 150 kW. Esta microred cuenta con una central de almacenamiento compuesta por dos bancos de baterías. La microred está conectada a la red de media tensión (10 kV) a través de un transformador de 400kVA. La microred posee un control central donde se realiza monitoreo y gestión de todas las variables que permite la automatización del sistema para la su funcionamiento tanto independiente de la red principal (modo isla) o conectada a la misma [14].



MV: Medium Voltage; GSM: Global System for Mobile Communication; PV: Photovoltaic; PQ: Active and Reactive Power Measurement

Fig. 4. Diagrama microred de Bronsbergen Holiday Park.

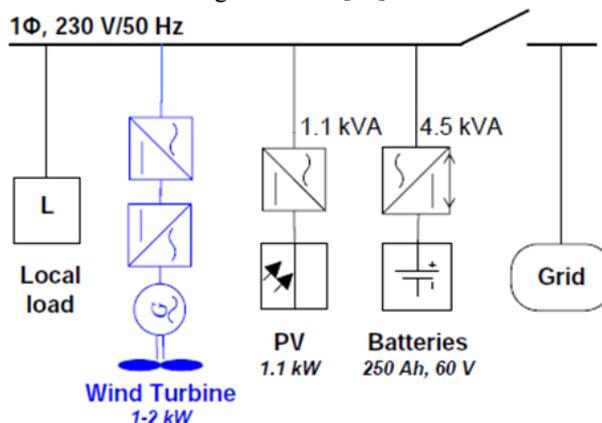
D. Microred Universidad Nacional Técnica de Atenas

Se trata de un prototipo modular a escala de laboratorio con una capacidad de generación de 1.1 kW proveniente de un generador fotovoltaico. Se planea en el futuro cercano ampliar la capacidad de generación entre 1 y 2 kW adicionales con la instalación de una turbina eólica. Las fuentes se conectan al bus de una fase de AC por medio de inversores PWM (Ancho de Pulso Modulado) DC/AC. El sistema cuenta un grupo de baterías de almacenamiento, el cual se conecta al bus de AC mediante un inversor bidireccional PWM, una carga local y una interconexión controlada a la red pública de baja tensión.

Mientras el sistema está conectado a la red principal, la carga local recibe energía tanto de la red como de la microred. Cuando ocurren interrupciones en la red principal, el sistema funciona en modo isla y posteriormente vuelve a conectarse a la red pública.

El componente central del sistema es el inversor de la batería, que regula el voltaje y la frecuencia cuando el sistema funciona en modo isla, asumiendo el control de la potencia activa y reactiva. Cuando la microred opera en modo aislado el inversor actúa como “formador de la red”, es decir que establece la tensión y la frecuencia del sistema.

Cuando opera en paralelo a la red principal, el inversor opera como “red de seguimiento” [15].



PV: Photovoltaic

Fig. 5. Diagrama microred de Universidad de Atenas.

E. Microred del Instituto de Tecnología de Illinois: Perfect Power Prototype

Debido a una serie de cortes en el suministro de energía en la red principal y a la creciente demanda energética el Instituto de Tecnología de Illinois (IIT) en colaboración con Galvin Electricity Initiative (GEI), lideran el proyecto de creación de una microred donde se permite desarrollar y validar tecnologías innovadoras de redes inteligentes y demostrar aplicaciones que permitan el uso comunitario.

Para la creación de esta microred se destinaron alrededor de 12 millones de dólares para los primeros 5 años de ejecución, el principal objetivo es crear una red inteligente que identifica y aísla los fallos de la misma, y gestiona los cambios tanto en la generación como en la carga, además se tiene proyectado que el prototipo de la IIT en un futuro permitirá que funcione independiente de la red principal o en modo isla.

La carga máxima de la microred de la IIT es de 10 MW, y hasta el momento la microred cuenta con dos unidades generadoras a base de gas de ciclo combinado y una pequeña turbina de viento que en conjunto generan algo más de 4 MW; dentro de los planes se encuentra añadir paneles fotovoltaicos en los techos, así como una batería de 500kWh, lo que permitirá aumentar la capacidad total de generación hasta cerca de 9 MW, por lo que el campus será capaz de funcionar en modo isla durante la mayor parte del tiempo completamente independiente de la de la red principal [5].

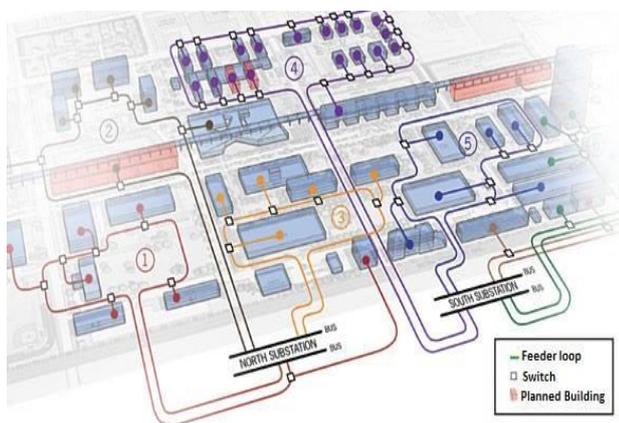


Fig. 6. Diagrama microred del Instituto de tecnología de Illinois [5].

F. Tabla Comparativa: Casos de éxito de Microredes alrededor del mundo.

Microred	Ubicación	Tecnologías y Características	Capacidad de generación
Santa Rita Green Jail	E.E.U.U, Santa Rita Jail, California	Almacenamiento de energía a gran escala, PV, celdas de combustible	2.2 MW
Esuscon	Chile, Huatacondo	PV, generación diesel, microturbinas eólicas, Social SCADA	15 kW
Holiday Park	Holanda, Bronsbergen	PV, Control con inversores fotovoltaicos	315 kW
Universidad Nacional Técnica de Atenas	Grecia, Atenas	PV, Inversores PWM	1.1 kW
Instituto de tecnología de Illinois	E.E.U.U, Chicago, Illinois	Generadores a gas, controlador DR	4 MW

PV: Photovoltaic; SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition; PWM: Pulse Width Modulation; DR: Distributed Resources

VI. CONCLUSIONES

La capacidad de aprovechar más recursos para la producción de electricidad y con un impacto menor al medio ambiente ha contribuido a que la generación distribuida esté reemplazando poco a poco a la generación centralizada.

Como era de esperarse al ser las microredes una nueva tendencia se presentan muchos desafíos de tipo técnico, económico, social y normativo, se espera que al ir avanzando en cada uno de ellos, se puedan implementar más microredes, a menor costo y más eficientes. Una de las barreras más importantes para la implementación de microredes es el alto costo de las tecnologías involucradas.

La configuración multi-componente de las microredes, obliga a superar los desafíos relacionados con los elementos específicos de la microred, ya que si éstos no se

implementan con éxito, afectarán el funcionamiento correcto de la microred.

Las microredes permiten la posibilidad de hacer la transición desde el modo conectada a la red principal, al modo isla o desconectada, ya sea intencionalmente o debido a un fallo en la red principal, y en particular si se tiene suficiente generación para proporcionar energía confiable.

REFERENCIAS

- [1] O'Connell, K. (2012) Innovation Trail [Online]. Available: <http://innovationtrail.org/post/energy-future-micro-grids-explained>
- [2] (2012) Microgrid Horizons [Online]. Available: <http://microgridhorizons.com/Pages%20%20MicroGrids/PagesAboutMicroGrids.html>
- [3] (2011) Microgrid Workshop Report. Energy.gov [Online]. Available: <http://energy.gov/sites/prod/files/Microgrid%20Workshop%20Report%20August%202011.pdf>
- [4] J. D. Marín "Estudio del Control de una Pequeña Central Hidroeléctrica para la Operación por Microredes en el Sistema de Distribución Local." M Eng. thesis, Univ. Nacional de Manizales, Caldas, Colombia [Online]. Available: http://www.bdigital.unal.edu.co/12106/1/9213007_2013.pdf
- [5] N. Hatzigiorgou, *Microgrids: Architectures and Control*, Ed. Noida, India: Wiley, 2014, p. 317.
- [6] (2015) Innovatelli website. [Online]. Available: <http://www.innovatelli.com/14-li-communities-win-microgrid-funding/>
- [7] L. Tripathi (2014) Study of Microgrid and its Communication Protocols. M.S. thesis Dep. Elect. Eng., Thampar Univ., Patiala [Online]. Available: http://dspace.thapar.edu:8080/dspace/bitstream/10266/2869/1/LS_Tripathi.pdf
- [8] P. Asmus, A. Cornelius, C. Wheelock (2009) Pike Research LLC [Online]. Available: http://www.missioncriticalmagazine.com/ext/resources/MC/Home/Files/PDFs/WP-MICROPike_Research-ExecutiveSummary.pdf
- [9] BC Hydro (2010) Innovative energy a breakthrough for remote communities. BC Hydro [Online]. Available: https://www.bchydro.com/news/press_centre/news_releases/2010/energy_storage_bella_coola.html
- [10] M. Muniz (2012) Alameda County Santa Rita Jail Achievements In Energy and Water Efficiency. General Services Agency County of Alameda [Online]. Available: <http://www.acgov.org/pdf/GSASmartGRIDProject.pdf>
- [11] Chevron Energy Solutions. Alameda County Santa Rita Jail Smart Grid – Project Overview. General Services Agency County of Alameda [Online]. Available: <https://www.acgov.org/pdf/SRJSmartGridOverview.pdf>
- [12] C. Sponseller (2012) Encorp helps complete nation's most advanced Microgrid project. Encorp [Online]. Available: http://www.encorp.com/release_santa_rita_jail.htm
- [13] R. Palma, D. Ortiz, L.Reyes, N. Garrido (2015) A Social SCADA Approach for a Renewable based Microgrid The Huatacondo Project. Researchgate [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/241192120_A_social_SCADA_approach_for_a_renewable_based_microgrid_-_The_Huatacondo_project
- [14] F. Overbeeke, V. Keivanidis, J. Cobben (2010) Field Test on Actual Microgrids [Online]. Available: http://www.microgrids.eu/documents/S_Cobben_Bronsbergen_Holiday_Park.pdf
- [15] M. Barnes, A. Engler, N. Hatzigiorgiou, M. Vandenberg. MicroGrid Laboratory Facilities [Online]. Available: <http://www.microgrids.eu/micro2000/presentations/43.pdf>