

# Revisión bibliográfica sobre micro redes inteligentes.

*Literature review of microgrids*

---

Juan Pablo Fossati <sup>1</sup>

Recibido: Junio 2011

Aceptado: Agosto 2011

**Resumen.-** El objetivo del siguiente artículo es presentar brevemente las tecnologías que están siendo desarrolladas en el campo de las redes eléctricas. En un futuro las mismas deberán asegurar que el suministro de energía a los distintos consumidores sea confiable, flexible, accesible y económico. En este sentido las redes inteligentes se presentan como la alternativa más prometedora a la hora de hacer frente a los retos energéticos. El presente artículo pretende explicar cómo las tecnologías de la información, las energías renovables y los sistemas de almacenamiento se integran de manera de formar la red eléctrica del futuro [1].

**Palabras claves:** red eléctrica inteligente, micro red inteligente, contadores inteligentes, almacenamiento de energía, energías renovables.

*Summary.- The purpose of this article is to give an overview of the technologies that are being developed in the field of electricity networks. Future electricity networks must provide all consumers with a reliable, flexible, accessible and cost-effective power supply. In this respect smart grids are one of the most promising alternatives to face the energetic challenges. This article is intended to explain how information technologies, renewable energies, and storage energy devices are integrated in order to constitute the electricity network of the future.*

**Keywords:** *smart Grid, smart meter, micro grid, energy storage, renewable energies.*

## 1. Introducción

**1.1. Concepto de red inteligente.-** El incremento exponencial de la demanda eléctrica así como requerimientos de calidad de suministro cada vez más exigentes han obligado a que paulatinamente se avance hacia un nuevo concepto de red eléctrica. A diferencia de las redes eléctricas tradicionales las redes inteligentes comprenden al sistema de transmisión y distribución, a los generadores y a los usuarios. Otra diferencia importante es la incorporación de tecnología digital de forma tal que exista un flujo de información bidireccional entre generadores y consumidores reduciéndose así los costos de generación y transmisión, mejorando al mismo tiempo la eficiencia y la confiabilidad. Por otra parte las redes inteligentes favorecen la integración de sistemas de energías renovables y de almacenamiento [2,3].

**1.2. Micro redes inteligentes.-** Una micro red es una componente de la red inteligente la cual forma parte de la red de distribución pudiendo a su vez autoabastecerse y funcionar de forma independiente [4]. La micro red está compuesta por un conjunto de cargas y generadores operando como un sistema único capaz de proporcionar potencia y calor. El funcionamiento y control de muchas de las fuentes que la integran están basados en electrónica de potencia, con lo que poseen la flexibilidad necesaria para garantizar la operación de todo el sistema como uno

---

<sup>1</sup> Ing. Ind. Graduado (Universidad de Montevideo). Estudiante de doctorado del CEIT.- University of Navarra. [jfossati@ceit.es](mailto:jfossati@ceit.es)

único. Este control flexible permite a la micro red presentarse al sistema eléctrico como una unidad controlable que abastece las necesidades locales con fiabilidad y seguridad.

Se tratan por tanto de sistemas híbridos formados por la integración de varios sistemas de generación, tanto convencionales como de origen renovable, con objeto de garantizar una base de continuidad en el suministro eléctrico. La configuración típica de un sistema híbrido es la siguiente:

- Varias unidades de generación de fuentes renovables: eólica, fotovoltaica, hidroeléctrica.
- Una o más unidades de generación convencional
- Sistema de almacenaje de tipo mecánico, electroquímico o hidráulico.
- Sistemas de condicionamiento de la potencia: inversor, rectificadores, reguladores de carga.
- Sistema de regulación y control
- Cargas
- Se trata en definitiva de pequeños sistemas inteligentes de distribución eléctrica y térmica auto gestionados localmente, de forma que podrían funcionar tanto conectados a la red pública de distribución como aislados de la misma ( Figura I).

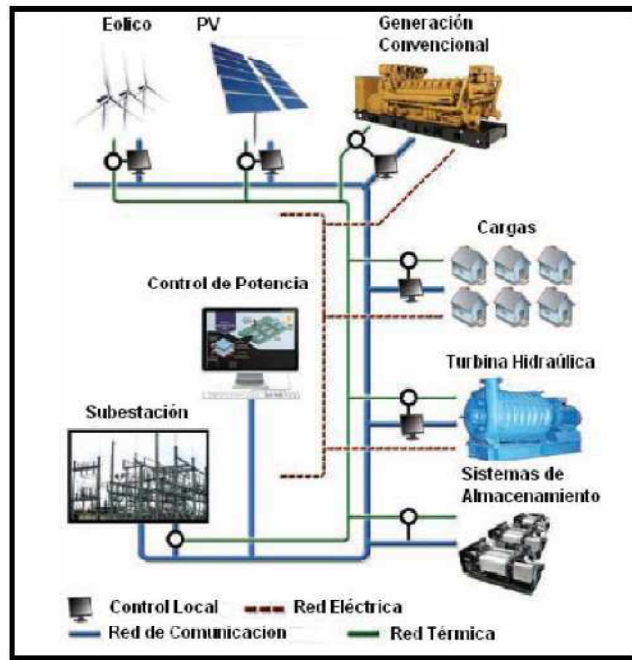


Figura I Esquema de red inteligente [1]

La tendencia actual es la de proyectar sistemas híbridos en los que las fuentes renovables y el almacenamiento proporcionen hasta el 80-90% de las necesidades energéticas, dejando la utilización de los sistemas convencionales para casos excepcionales.

Las micro redes representan actualmente una solución viable para las exigencias de energía eléctrica en áreas aisladas o no electrificadas. En el pasado, de hecho, se utilizaban solo generadores diesel, que, en la modalidad operativa de baja carga, muestran una eficiencia reducida en el funcionamiento, altos costes de manutención y un breve tiempo de vida de la instalación. Las micro redes inteligentes permiten reducir esos problemas y aprovechar los recursos renovables existentes en el territorio, constituyendo una opción viable y favorable tanto ambiental como socialmente.

Las aplicaciones de las micro redes inteligentes son [1]:

- Sistemas para usuarios o comunidades aisladas: se trata de sistemas hasta un máximo de 100 kW de potencia.
- Sistemas tipo retrofit: se trata de sistemas renovables instalados en redes locales en media tensión, hasta potencias de unos MW, con el fin de reducir las horas de funcionamiento de los generadores diesel existentes, ahorrando combustible y reduciendo las emisiones contaminantes.
- Sistemas combinados que utilizan únicamente fuentes de origen renovable y que unen las tecnologías fotovoltaica, eólica e hidroeléctrica. Debido al carácter intermitente de este tipo de generación son utilizadas en aplicaciones “grid-connected”.
- En algunas situaciones, se usan sistemas híbridos completamente renovables pero que permiten la autosuficiencia respecto a la red eléctrica. Estos sistemas combinan una fuente continua, para cubrir la necesidad energética de base (biomasa y/o energía geotérmica), y una o más fuentes intermitentes, para cubrir los picos de potencia solicitada (hidroeléctrica, eólica, solar).
- Sistemas híbridos que combinan las fuentes de origen renovable con fuentes convencionales, y que permiten operar tanto de manera aislada como conectada a la red de distribución.

La principal característica de una red inteligente es que permite la distribución de electricidad desde los proveedores hasta los consumidores, utilizando tecnología digital con el objetivo de ahorrar energía, reducir costes e incrementar la fiabilidad.

Para conseguir este objetivo es necesario un reparto óptimo de la energía lo que implicaría, bien su almacenamiento cuando existe un excedente (algo complejo y costoso), o una reestructuración del sistema actual para adaptarse a la demanda de forma flexible aprovechando las tecnologías existentes. En el caso de los sistemas de almacenamiento cabe mencionar como ejemplos a los volantes de inercia y a los súper capacitores.

Un volante de inercia para micro-redes, es un convertidor de energía eléctrica en energía cinética y viceversa. La conversión de energía eléctrica en mecánica y el proceso inverso se realiza mediante una máquina eléctrica (motor-generador eléctrico) [5].

Los súper condensadores son dispositivos de almacenamiento que cuentan con alta capacidad de potencia (baja impedancia interna) y una relativamente elevada densidad de energía. También conocidos como EDLC's (“Electrochemical Dual Layer Capacitor”) los súper condensadores cuentan con un elevado ciclo de vida debido a que en su funcionamiento no se producen reacciones químicas. El almacenamiento de energía es puramente electrostático y por lo tanto reversible [1, 5]

La solución pasa por implicar al usuario-consumidor, que tiene un papel muy importante, ya que se convierte en un elemento más dentro de la red inteligente. La idea es que las tarifas sean dinámicas, variando su precio en función de la demanda y siendo el usuario concededor de las mismas en tiempo real.

Los hogares tendrán que estar dotados por tanto de unos dispositivos inteligentes (smartmeters o contadores inteligentes) que reemplazarían a los clásicos contadores. Estos son capaces de informar en cada momento del precio de la energía que se está consumiendo así como del voltaje, la frecuencia el ángulo de fase [6] (Figura II). Esta información no se limitaría a ser visual únicamente sino que, a través de un protocolo informático, podría dotar a los aparatos eléctricos y electrónicos inteligentes de los datos necesarios para activar el consumo cuando fuera más favorable, con el consiguiente ahorro energético.



Figura II.- Contador inteligente [18]

Si nos fijamos en el consumo de energía eléctrica a lo largo de una jornada podemos observar como existen picos de demanda a determinadas horas. Lo que se pretende con este sistema es premiar a aquellos usuarios que utilizan energía eléctrica en horarios de baja demanda sin que suponga un esfuerzo adicional por su parte (sistema no intrusivo).

Este modelo de pequeños sistemas inteligentes de distribución eléctrica auto gestionados localmente, pueden funcionar tanto conectados a la red pública de distribución como aislados de la misma. Además, dentro de este modelo, los usuarios también pueden ser proveedores de energía. Las energías renovables constituyen una buena forma de producir energía y el excedente podría ser distribuido apropiadamente a través de la red inteligente, con el consiguiente beneficio económico para el usuario. Relacionado con esto, existe también el denominado “vehicle-to-grid”. Estos son vehículos eléctricos los cuales pueden ser considerados como pequeñas plantas energéticas con capacidad de absorber energía al ser cargados o

inyectar energía en momentos puntuales [1, 7].

Coordinar toda esta red, cada vez más distribuida resulta difícil debido a que cada particular se convierte a su vez en centro productor. Los clientes pasan de ser consumidores pasivos a decidir en qué momento quieren consumir de la red, en función de los precios de cada franja horaria.

**2. Ventajas de las redes inteligentes.**-Las principales ventajas que introduce el concepto de micro-red inteligente son las siguientes:

- Reducción de los picos de consumo: Como la información es doble en cuanto al consumo y generación, solo estarán en operación las unidades generadoras no renovables requeridas en tiempo real. Esto hace a la red más eficiente energéticamente y minimiza la inversión en los sistemas de generación, transporte y distribución de electricidad [1, 8]).
- La red inteligente permite que el excedente de energía sea incorporada a la red. El usuario se transforma en generador de electricidad, es decir, en un productor descentralizado. Esta forma de manejar la energía eléctrica pone a disposición de los grandes generadores centralizados potencia instalada, para la cual no han realizado ninguna o poca inversión. Además por ser descentralizada la generación, se minimizan las pérdidas por transmisión y distribución de electricidad, con lo que se aprovecha de una forma más eficiente la energía [1]
- El usuario adquiere a su vez múltiples ventajas como [1, 6]:
  - Pago por uso: al no ser necesaria una lectura manual, se eliminan los recibos y los consumidores sólo pagan por lo que consumen.
  - Tarifas flexibles: las empresas gestionan diversas tarifas para optimizar el consumo de la energía.

- Gestión en remoto del suministro de energía: no será necesario una intervención local para activar, terminar o incrementar el suministro.
- La red inteligente permite la automatización de cada toma corriente en cada hogar y negocio de la red, es decir, se puede reducir la factura energética automáticamente, ya que se puede desconectar o conectar, sin la intervención humana. De esta manera se ofrece al consumidor la capacidad para modificar sus hábitos de consumo de electricidad mediante la automatización de su inmueble. Por otro lado se reduce la dependencia de la red eléctrica convencional, pudiendo, la micro red, funcionar de forma aislada o conectada a la red. De esta manera es posible evacuar el excedente de energía para su comercialización o absorber de la red parte de la energía consumida [9].
  - Se puede utilizar el potencial energético de los gases calientes de escape y líquidos de refrigeración de los generadores eléctricos (turbinas de combustión, microturbinas, pilas de combustible...) y de esta forma proveer de agua sanitaria y calefacción como producto secundario. Con ello se aumenta la eficiencia energética de todo el sistema. Esta red térmica paralela puede ser instalada en aplicaciones industriales, comerciales y residenciales, debido a la cercanía de las fuentes de generación y consumo [1, 10].
  - En la red inteligente se incorporan sistemas de gestión y almacenamiento inteligente, que permiten entre otras cuestiones, aprovechar al máximo las energías renovables, independientemente del momento en que se producen. Por otro lado es posible asegurar la alimentación de las cargas críticas de la red [8].
  - La coordinación y gestión inteligente de las cargas y de la micro-generación, puede suponer menos problemas al operador de la red que en el caso convencional. Así a través del concepto de red inteligente se podrían aportar servicios coordinados para el control local de tensión [1].
  - Durante eventos de la red (faltas, operaciones de mantenimiento,..), las micro-redes inteligentes pueden desconectarse y operar autónomamente. Es posible además localizar las faltas así como su naturaleza y magnitud [11]. Esta operación puede potencialmente aumentar la fiabilidad de suministro al cliente final, reduciendo el número de interrupciones. Por otro lado la optimización del sistema de seguridad por medio del control remoto, permite la conexión y desconexión de forma automatizada de líneas de transmisión y equipos generadores. Por último, la supervisión a distancia del activo en tiempo real permite una mejor gestión de las actividades de mantenimiento [1, 12].
  - Debido a que los sistemas de generación incorporan electrónica de potencia de última generación se pueden producir mejoras en la calidad de la energía eléctrica (voltaje, frecuencia, estabilidad de la tensión, suministro de potencia reactiva y corrección del factor de potencia) [13]
  - El concepto de red inteligente puede ser implementado tanto en baja como en media tensión, dependiendo de la aplicación, potencia de pico y localización [1]
  - En la medida que se refuerza la utilización de energías renovables y se optimiza la utilización del resto, se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero. Por otro lado se aumenta la independencia respecto a la incertidumbre del precio del petróleo lo cual incide directamente en el desarrollo de la economía a nivel global [12, 8].
  - Las fuentes de energía renovables se caracterizan por ser escalables permiten instalaciones modulares, flexibles, y con tiempos reducidos de instalación, además se pueden construir, de manera distribuida por todo el territorio [1].
  - Los operadores pueden reducir el riesgo de sobrecarga de los transformadores de potencia equipos claves en la transmisión de electricidad, permitiendo un servicio continuo y mayor vida útil de los mismos. A su vez es posible realizar un monitoreo continuo de los distintos equipos de la red facilitando así su mantenimiento [12]
  - La red inteligente incrementa la confiabilidad del sistema eléctrico (horas de fallo divididas entre las horas de operación), por lo que beneficia a productores y consumidores de electricidad [8, 12].

- La definición de red inteligente refuerza la integración y despliegue del vehículo eléctrico, de forma que la fuente energética del transporte se desvía desde los combustibles fósiles hacia el vector eléctrico. Este cambio trae como consecuencia una optimización del rendimiento energético del transporte. Los sistemas tradicionales suponen un freno para la implantación de este tipo de vehículos, porque ahora mismo es imposible recargar millones de coches eléctricos al mismo tiempo, sin provocar una subida de la tensión. Las redes inteligentes significan una gestión más eficiente de la red eléctrica, imprescindible para la difusión de los coches eléctricos [8].

**3. Futuro de las redes inteligentes.-** Las oportunidades que se ofrecen a una entidad local para el desarrollo y la difusión de las instalaciones de fuentes de energías renovables de pequeño tamaño son muchas y no necesariamente relacionadas con la financiación o la asignación de fondos.

La red del futuro debe [1]:

- Permitir la autogestión de incidencias
- Estar dotada de resistencia frente a ataques y desestabilizaciones
- Potenciar la participación activa de los consumidores
- Tener capacidad de suministro de energía de calidad adecuada a la era digital
- Acomodarse a una amplia variedad de modalidades de generación y almacenamiento
- Facilitar el florecimiento de mercados
- Realizar una optimización más eficiente de sus activos y operación
- Auto restauración: haciendo continuamente evaluaciones para detectar, analizar, responder y, cuando resulta necesario, restaurar componentes o secciones de la red.
- Minimización de las interrupciones del servicio empleando nuevas tecnologías que puedan adquirir datos, ejecutar algoritmos de soporte a la decisión, advertir o limitar interrupciones, controlar dinámicamente el flujo de energía y restaurar el servicio rápidamente

**4. Experiencias en curso en el mundo.-** El estudio de las redes inteligentes está teniendo un importante impulso a nivel internacional. Actualmente se están realizando numerosos estudios, países como Estados Unidos, Canadá, Japón, ya cuentan con instalaciones piloto.

Entre ellos se pueden mencionar [14]:

- En Canadá, la micro-red BC Hydro Boston Bar, (British Columbia Hydro), 1995.
- En Japón: en Hachinohe y Kyotango varias empresas han implantado sendas micro redes que funcionan desde 2005.
- California, el consorcio CERTS, en el que participan varias empresas y centros de investigación, cuenta con una red inteligente operativa desde 2006.

Europa tampoco se queda atrás

- En Portugal la compañía eléctrica EDP ha introducido una para modernizar el extremo de una pequeña sección de red radial y comercial
- En Alemania en Manheim la empresa MW Energie está construyendo una micro red
- En el ámbito europeo se han creado los consorcios de “Micrigrids” y “MoreMicrogrids” que trabajan en diversos proyectos en el ámbito de las micro redes y en los que participan 22 empresas y centros de investigación de 11 países de la Unión Europea.

Dado el carácter innovador, una gran parte de los proyectos de implantación de micro redes tienen lugar en consorcios tecnológicos o universidades. A modo de ejemplo el proyecto Microrred PSE llevado a cabo por un conjunto de instituciones público-privadas (Iberdrola, Tecnalia, EVE y Clúster de Energía del País Vasco.) en la provincia de Vizcaya (España), se han implementado micro redes integrables a la red de media tensión con una combinación de

tecnologías de micro generación [15]. Estas tecnologías incluyen: pilas de combustible, microturbinas, fuentes renovables y almacenamiento de energía (volantes de inercia, súper capacitores, almacenamiento de hidrógeno). Uno de los objetivos del proyecto es estudiar la viabilidad de las micro redes en distintos contextos que enumeraremos a continuación:

1. Gran concentración de oficinas con una buena red de distribución
2. Rural con una red de distribución débil
3. Residencial en área semi-rural de nueva construcción.

Otros ejemplos concretos de instalación de micro redes son los llevados a cabo en las universidades de San Diego California o la Universidad de las Vegas [16]. Actualmente la cárcel de Santa Rita California cuenta con una micro red que incluye generación eólica y solar, baterías, celdas de combustible y generación diesel [17].

**5. Conclusión.-** Resultado del advenimiento de nuevas tecnologías así como de las nuevas exigencias en materia energética las micro redes se presentan como una alternativa prometedora frente a los desafíos energéticos actuales. En el presente artículo se han expuesto las principales características de este tipo de redes así como sus beneficios y tecnologías implicadas.

Las micro redes permiten gracias al uso de tecnología digital una mejor gestión de la energía en la que el usuario, por medio del uso de contadores inteligentes, pasa a ser un elemento activo de la red. Por otro lado y en parte debido a la incorporación de sistemas de almacenamiento tales como baterías, súper capacitores o volantes de inercia las micro redes facilitan la incorporación de sistemas de energía renovables. Las redes inteligentes son además fundamentales en el desarrollo del vehículo eléctrico ya que el mismo actúa tanto como consumidor o como generador. Por último se debe destacar la mejora en la calidad de la energía debido al uso de electrónica de potencia, la reducción en el consumo, la posibilidad que tiene la red de actuar autónomamente y la integración de sistemas de cogeneración. Estos son solo algunos de los motivos por los que las micro redes se perfilan como un elemento esencial en las redes eléctricas del futuro que poco a poco están tomando forma a través de distintas experiencias piloto.

## 8. Referencias

- [1] Centro de estudios e investigaciones técnicas de Guipuzkoa. Propuesta de proyecto Micro Grid Gipuzkoa. Gipuzkoa : s.n., 2009. pág. 2.
- [2] Survey on Smart Grid. Radman, Ghadir. 2010, Proceedings of the IEEE SoutheastCon (SoutheastCon), págs. 210 - 213.
- [3] Smart Grid: Challenges, Research Directions. Beidou, F. Bagnan, y otros. 2010, IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems, págs. 670 - 673.
- [4] Control of Microgrids: Aspects and Prospects. Dobakhshari, A. Salehi, Azizi, S. y Ranjbar, A. M. 2011, International Conference on Networking, Sensing and Control, págs. 38 - 43 .
- [5] Impact of Energy Storage in Micro-grid Systems with DGs. Kwhannet, U., y otros. 2010, International Conference on Power System Technology, págs. 1 - 6.
- [6] Smart Meters for Power Grid – Challenges, Issues, Advantages and Status. Depuru, Soma Shekara Sreenadh Reddy y Wang, Lingfeng. 2011, International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring (CDCIEM), págs. 1 - 7.
- [7] Research on Vehicle-to-grid Technology. yiyun, Tu, y otros. 2011, International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring, págs. 1013 - 1016 .
- [8] Smart Grid Technology Review within the Transmission and Distribution Sector. Hamidi, V., Senior, K.S Smith y Wilson, R.C. 2010, Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe), IEEE PES , págs. 1 - 8.

- [9] The Smart Grid and Key Research Technical Challenges. Rosenfield, Michael G. 2010, Symposium on VLSI Technology (VLSIT), págs. 3 - 8.
- [10] U.S Environmental Protection Agency. Catalogue of CHP Technologies. December 2008.
- [11] Review of Technologies and Implementation Strategies in the Area of Smart Grid. Khan, Hammad A, y otros. 2009, Power Engineering Conference, AUPEC , págs. 1-6.
- [12] Getting Smart. 2008, IEEE Power & Energy magazine.
- [13] An Overview on the Smart Grid Concept. Cecati, Carlo, Mokryani, Geev y Antonio Piccolo. 2010, 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society , págs. 3322 - 3327.
- [14] [http://www.fegasinel.com/blog/?page\\_id=63](http://www.fegasinel.com/blog/?page_id=63).
- [15] <http://www.microrred-pse.es/>.
- [16] [http://www.microgrids.eu/documents/Ch.\\_Marnay\\_US\\_Activities-2.pdf](http://www.microgrids.eu/documents/Ch._Marnay_US_Activities-2.pdf).
- [17] Microgrids and Distributed Energy Resources. Lasseter, Bob. 2008.
- [18] <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=virginia-smart-meters-power-grid>.