

# MICRO-GRID DE VOLTAJE CONTINUO/ALTERNO ALIMENTADO CON FUENTE SOLAR, EÓLICA, BATERÍAS Y CONVENCIONAL

Jorge Luis Mírez Tarrillo

Facultad de Ciencias - Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú.  
 Autor para correspondencia: jorgemirez2002@gmail.com, jmirez@uni.edu.pe  
 Fecha recepción: 18 de julio de 2013 - Fecha aceptación: 4 de octubre de 2013



Imagen ilustrativa: Solar and Wind. Fuente: <http://www.eco.on.ca>

## Resumen

El crecimiento en el consumo de energía a nivel mundial y el agotamiento a futuro de combustibles fósiles, ha sido el sustento para el incremento en el uso de las energías renovables. La tendencia actual es contar con pequeños sistemas eléctricos llamados “Microgrid”. Se describe un nuevo diseño de una Microgrid (MG) con una red eléctrica de distribución en DC alimentado por energías renovables (solar, eólica, baterías) más una fuente convencional (red eléctrica AC) acoplada a la red eléctrica DC de la microgrid mediante un rectificador. El sistema tiene como finalidad el usar las redes eléctricas existentes, también el de incrementar la capacidad de conducción y el fácil acoplamiento entre diferentes MG. Un sistema de mando y control de la MG permite evaluar voltajes y corrientes en cada parte de la MG y realizar operaciones de mando, recolección de datos y gestión de energía; sin embargo, la finalidad es determinar una forma de autofuncionamiento en trabajo normal sin averías. Para lo cual se han realizado modelos físicos, modelamiento y simulación en Matlab/Simulink sobre generación eólica y solar fotovoltaica, almacenamiento de energía en baterías, transformadores, rectificadores, inversores, cargas eléctricas del tipo domiciliario y el sistema de control y potencia de la MG.

**Palabras clave:** Matlab/Simulink, Simulación, Energías renovables.

## Abstract

Growth in energy consumption worldwide and future depletion of fossil fuels has been the support for increased use of renewable energy. The current trend is to have electrical pe-flutes called “microgrid”. We describe a new design of a microgrid (MG) with an electricity distribution network in DC-powered renewable energy (solar, wind, batteries) over a conventional source (AC power) coupled to the DC power supply by the microgrid rectifier. The system is aimed at using existing power grids, also increase the carrying capacity and ease of coupling between different MG. A command and control of the MG allows evaluating voltages and currents in each part of the MG and control operations, data collection and management of energy, but the purpose is to determine a form of eigenfunctions in normal work without breakdowns. For which physical models, modeling and simulation Matlab/Simulink on wind generation and solar photovoltaic energy storage batteries, transformers, rectifiers, inverters, electrical charges and house type and control system MG power were made.

**Keywords:** Matlab/Simulink, Simulation, Renewable energy

## 1. OBJETIVOS

- Describir lo que es generación distribuida y microgrids.
- Mostrar diseño y resultados de simulaciones de microredes desarrollados en software Matlab/Simulink.

## 2. INTRODUCCIÓN

Hay un incremento en el consumo de electricidad, así mismo la depleción (disminución) de la disponibilidad de combustibles fósiles ha llevado consigo al progresivo desarrollo de tecnologías alternativas de generación y almacenamiento de energía. Más también se está dando un cambio en la forma como se transporta la electricidad desde las fuentes de generación hasta los usuarios y de los servicios que brindan las empresas, es un cambio de topología de las redes eléctricas que involucra nuevos problemas tanto en el control, calidad de energía y protección eléctrica. Con el calentamiento global que involucra cambios en el comportamiento de las épocas de lluvia y de verano, lleva consigo también una cierta incertidumbre en la disponibilidad de recursos naturales (como el agua) utilizados para la generación de electricidad. Ante esto y dado también que la región andina se proyecta a un crecimiento económica en el corto y mediano plazo, se hace necesario analizar, estudiar, proponer y brindar resultados sobre una nueva tendencia de implementación de las redes eléctricas conocida como MG de energía, las cuales según se verá en lo consiguiente del presente trabajo, se puede implementar con consiguientes beneficios para usuarios, empresas, sociedad en general y cuidado del medio ambiente.

Hay varios programas de investigación sobre energías renovables y, que ha llevado a definiciones como Generación Distribuida, Smart Grid y MG.

Las MG son en pequeña escala, redes de suministro de calor y energía eléctrica que alimentan cargas eléctricas y de calor a una comunidad pequeña. Es una red activa que controla potencias de hasta 10 MVA y al que se le puede colocar los medios adecuados para asegurar la flexibilidad del sistema y la calidad de la energía. Las MG en los últimos años es un tema de mucho interés por sus beneficios (reduce costos de transmisión y de inversión de redes, acortando el tiempo de construcción y facilita el proceso de sitios para pequeñas plantas de potencia.

En la Universidad Nacional de Ingeniería (Lima, Perú) existen experiencias como el “Diseño, construcción y caracterización de un sistema de generación de 500 W”; un trabajo sobre “Micro-networks: Sistemas Interligados de energías no convencionales para la Independencia Energética”, otro sobre “Desarrollo de un Sistema de Biodigestores y Energías Limpias”, más el trabajo del Centro de Energías Renovables (CERN) y Laboratorios de la Facultad de Ciencias.

El estudio se ha hecho bajo ciertos criterios tomados de la bibliografía consultada con la cual se ha modelado y simulado una MG de fuentes de energía renovables, cargas eléctricas y el controlador, todo ello hecho en Matlab/Simulink.

## 3. DESCRIPCION DE ELEMENTOS DE LA MICROGRID.

### 3.1 Turbina eólica.

La potencia ideal de una masa de aire fluyendo se describe mediante (1)

$$P_v = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

donde  $\rho$ = densidad de aire y  $v$ = velocidad del viento.

La densidad varía según las condiciones ambientales del lugar en el que se ubicará la central eólica, descrito según (2).

$$\rho(z) = \frac{\rho_o}{RT} \left( \frac{-gz}{RT} \right)$$

siendo  $\rho_0$  la densidad atmosférica estándar a nivel del mar; R es la constante específica del gas para el aire; g es la gravedad; T la temperatura ambiental y z la altitud. La energía disponible en el viento es la integración de (1).

Se utilizó también el tip speed ratio “ $\lambda$ ” según (3).

$$\lambda = \frac{\omega R}{V}$$

donde  $\omega$  es la velocidad rotacional del rotor y R es el radio del rotor.

Se usa finalmente las siguientes ecuaciones tanto para el tip speed ratio real “ $\lambda_i$ ” y el coeficiente de potencia “ $C_p$ ” precisados en (4) y (5).

$$\lambda_i = \frac{3600R}{1609\lambda}$$

$$C_p = \frac{1}{2} (\lambda_i - 0.022\beta^2 - 5.6) e^{-0.17\lambda_i}$$

siendo  $\beta$  el ángulo de ataque del álabes. Se ha simulado toda la turbina (ver Figura 1)

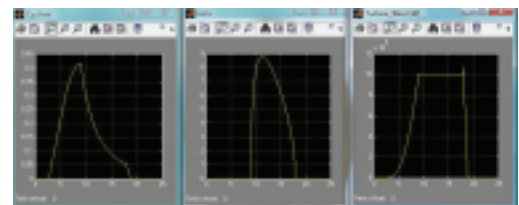


Figura 1.  $C_p$ ,  $\beta$  y potencia de una turbina de 100 kW de capacidad nominal.

### 3.2 Panel solar fotovoltaico.

Los paneles solares se han trabajado en base a silicio del cual se ha obtenido los datos del coeficiente de absorción. Las células solares se conectan en serie y paralelo para obtener los voltajes y potencia de salida deseados. Las eficiencias de los paneles solares se van incrementando progresivamente.

La densidad de corriente se define según (6).

$$J = J_{SC} - J_o \left( e^{\frac{v}{V_T}} - 1 \right)$$

donde:  $J_{SC}$  es la densidad de corriente espectral de cortocircuito;  $J_0$  es la densidad de corriente de saturación, v es el voltaje en los electrodos de la célula solar y  $V_T$  es el voltaje térmico de la célula.

La corriente generada en la célula solar es:

$$I = I_{SC} - I_o \left( e^{\frac{v}{V_T}} - 1 \right)$$

que guardan relación con densidades por:

$$I_{SC} = AJ_{SC}$$

$$I_o = AJ_o$$

donde A es el área total del dispositivo. Y la potencia eléctrica de la célula es:

$$P = V \times I$$

Pero adoptando la irradiación solar y la temperatura de la célula, la expresión queda:

$$P_{PV} = P_{SCT} \frac{G_{ING}}{G_{STC}} \left[ 1 + k(T_c - T_r) \right]$$

siendo: PPV, la potencia generada; PSCT la potencia nominal en condiciones de prueba estándar; GING la irradiancia instantánea; GSTC la irradiancia solar en condiciones de prueba estándar y k es el coeficiente de temperatura del silicio con que se fabrica la célula fotovoltaica.

### 3.3 Cargas eléctricas domiciliarias.

Tienen un comportamiento característico a lo largo del día, caracterizado principalmente por un fuerte incremento en las primeras horas de la noche (la hora punta). Utilizan un inversor multi-nivel de buen desempeño con el cual se alimentan del sistema de distribución dc de la MG.

### 3.4 Transformador – Rectificador.

Se ha utilizado las expresiones matemáticas de un transformador ideal que trabaja con un rectificador de buen desempeño. Estos van a servir para convertir el suministro o generación de ac al sistema de distribución dc de la MG.

## 4. MICROGRID EN ESTUDIO

La MG consta de elementos que trabajan coordinadamente conectada a la red eléctrica convencional (ver Figura 2) o de manera independiente (Figura 3).

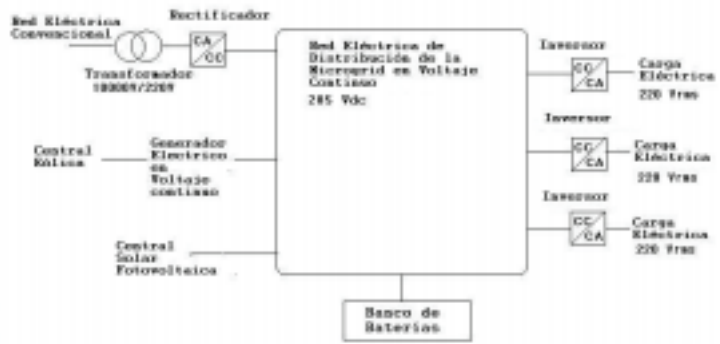


Figura 2: MG conectada a red eléctrica.



Figura 3: MG desconectada a red eléctrica.

### 4.1 Control de Voltaje, Potencia y Corriente.

Se prioriza el mantener el nivel de voltaje de la MG y de las cargas por encima de determinado valor mínimo. El despacho de potencia se prioriza en orden: energías renovables, fuentes de almacenamiento y en caso de faltar potencia, ingresa desde la red eléctrica convencional. Se hace un balance de voltajes, potencias, corrientes y energías generadas, consumidas y almacenadas.

## 5. RESULTADO DE LA SIMULACION DE LA MICROGRID

En los resultados se presentan los valores de potencia, corriente, energía y voltaje de todos los elementos de la MG.

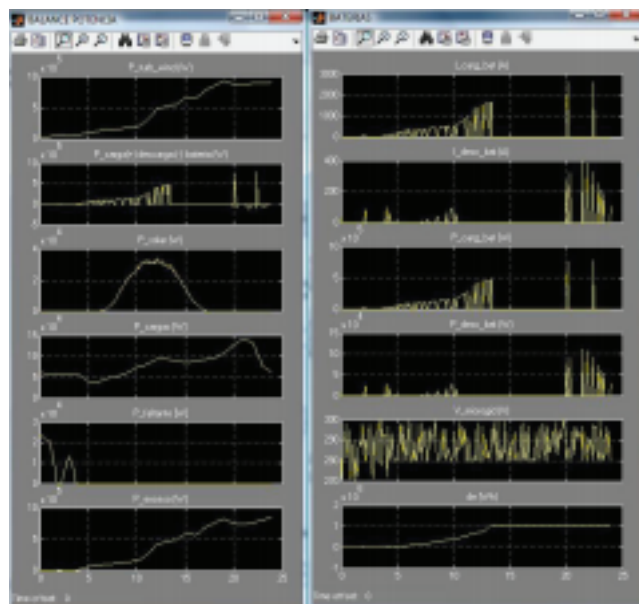


Figura 4: Balance de Potencia y detalle de Baterías, Paneles Solares.

Diferentes situaciones de trabajo se ha analizado, como por ejemplo: MG con baterías que no llegan a su capacidad máxima de carga; MG con baterías totalmente agotadas; MG con baterías que llegan a su máxima capacidad de almacenamiento y presentan exceso de energía, de este último caso se muestra el balance general de potencia y el detalle de la fuente de almacenamiento (Figura 4) y el exceso de potencia y energía (Figura 5).

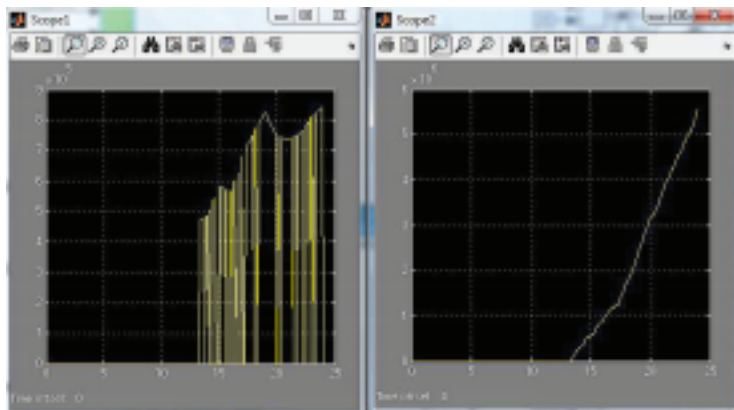


Figura 5: Sobrante de Potencia (W) y Energía (Wh)

## 6. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado el software en Matlab/ Simulink y evaluado en estado estable un nuevo modelo de MG, que es adaptable a los actuales sistemas de distribución de energía eléctrica. Se sugiere una siguiente fase experimental a nivel de prototipo y la conformación de equipos multidisciplinarios de optimización, coordinación de protección, información, respuesta ante procesos transitorios normales y de avería en la MG.

## Referencias

- [1] Agencia Andaluza de la Energía (AAE). Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. Junta de Andalucía. España. <http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/Radiacion/radiacion1.php>
- [2] ABB Transformers. Power Transformers – The largest installed base worldwide. ABB Management Services Ltd. Zurich, Switzerland, 2006.
- [3] ABB. A Smart Grid is an Optimized Grid. ABB Inc. North America Corporate Headquarters, 2009.
- [4] Tomas Ackermann. Wind Power in Power Systems. Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. John Wiley & Sons, Ltd. 2005.
- [5] Arto Niinistö. Simulation of the Management of a Micro Grid with Wind, Solar and Gas Generators. Master's Thesis of Engineering, Faculty of Electronics, Communications and Automation. School of Science and Technology. Aalto University. Espoo. 12 October 2009.
- [6] Ernesto Bárcenas Bárcenas. Análisis y Desarrollo de un Inversor Multinivel. Tesis Maestro en Ciencias de Ingeniería Electrónica. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico. CINEDET. Morelos, México. Diciembre 2002.
- [7] Fernando D. Bianchi, Hernán De Battista, Ricardo J. Mantz. Wind Turbine Control Systems: Principles, Modelling and Gain Scheduling Design. Springer – Verlag London Limited. 2007.
- [8] Alberto Andrés Bretón Schuwirth. Diseño y Construcción de un Inversor Trifásico Multinivel de Cuatro Etapas para la Compensación Armónica y de Reactivos. Memoria para optar el título de Ingeniero Civil Industrial con Diploma en Ingeniería Eléctrica. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile. 2003.
- [9] Luis Castañer, Santiago Silvestre. Modelling Photovoltaic Systems using Spice. ISBN 0-470-84527-9. John Wiley & Sons, Ltd. 2002.
- [10] S. Chowdhury, S.P. Chowdhury and P. Crossley. Microgrids and Active Distribution Networks. The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, 2009.
- [11] TR Crompton. MSc, BSc. Battery Reference Book. Thrid Edition. ISBN 07506 4635 X. Newnes Elsevier. 2000.
- [12] Brendan Fox, Damian Flynn, Leslie Bryans, Nick Jenkins, David Milborrow, Mark O'Malley, Richard Watson and Olimpo Anaya Lara. Wind Power Integration: Connection and System Operational Aspects. The Institution of Engineering and Technology. London, UK. 2007.
- [13] Martín O. L. Hansen. Aerodynamics of Wind Turbines. Second Edition. ISBN: 978-1-84407-438-9. Earthscan. 2008.
- [14] Miguel Villablanca, Carlos Cádiz, Jorge Tapia. Rectificadores CA/CC tiristorizados con formas de onda de alta calidad. Ingeiare. Revista Chilena de Ingeniería. Vol. 18. N° 1, 2010, pp. 132-133.
- [15] Héctor Tabares, Jesús Hernández. Mapeo curvas típicas demanda de energía eléctrica del sector residencial, comercial e industrial de la Ciudad de Medellín, usando redes neuronales y algoritmos de interpolación. Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquía. Número 46. Pp. 110-118. Diciembre 2008.