

Control de Generación de una Micro-Red Eléctrica Conformada por Fuentes Renovables de Energía

Brenda Paola Guzmán Escoto (1), José Merced Lozano García (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería Eléctrica] | Dirección de correo electrónico: [bp.guzmanescoto@ugto.mx]

2 [Departamento de Eléctrica, División de ingenierías Campus Irapuato-Salamanca] | Dirección de correo electrónico: [jm.lozano@ugto.mx]

Resumen

Las micro-redes eléctricas que integran fuentes renovables de energía como medios de generación distribuida, son una excelente opción para soportar una parte de la creciente demanda energética. En México, ha crecido el número de instalaciones de micro-redes eléctricas de bajos niveles de potencia, principalmente para consumo residencial, y en menor medida en niveles industriales. Sin embargo, la mayoría de estas no presentan un esquema de control que permita optimizar la energía generada. En este trabajo se propone un esquema de control para una micro-red eléctrica compuesta de paneles fotovoltaicos, a fin de controlar el flujo de potencia generado y maximizar el beneficio económico al incluir restricciones impuestas por las diferentes tarifas energéticas de CFE. Para analizar la operación de la micro-red se utilizan modelos detallados de los diferentes elementos que la conforman, implementados en Simulink de Matlab®, y se consideran datos variantes en el tiempo tanto para la demanda de energía y los niveles de radiación solar, para aproximar la operación de la micro-red en un horizonte de tiempo de 24 horas.

Abstract

Micro-grids that integrate renewable energy sources as distributed generation units represent an excellent solution to support part of the growing energy demand. In Mexico, the number of micro-grid installations in residential levels has increased considerably and to a lesser extent in industrial levels. However, most of these installations do not include a control scheme that optimizes the power generated by the renewable sources. In this paper which would cause an increase in the economic profit that could be obtained from them. In this paper, a control scheme for the photovoltaic micro-grid is proposed, in order to control the generated power flow and thus increase the economic profit. This control strategy will consider the restrictions imposed by the different industrial CFE energy rates. Finally, micro-grid operation will be studied through detailed models of the different elements that integrate. For micro-grid simulation, time-variant data will be considered for energy demand and solar radiation levels, on a time horizon of 24 hours.

Palabras Clave

Control de flujo de potencia; Demanda energética; Paneles fotovoltaicos; Modelado matemático; Curvas de radiación solar

INTRODUCCIÓN

El aumento en la demanda energética previsto para nuestro país, de acuerdo las perspectivas eléctrica y energética para los próximos años, así como la dependencia que se tiene de fuentes de energía que utilizan petróleo como principal energético, establecen un panorama en el que se vislumbra un incremento en el costo de la energía principalmente para el sector industrial. Por citar un ejemplo, a las empresas cuyas características de demanda son tan elevadas que deben solicitar un servicio en niveles de sub-transmisión, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) les cobra cargos tanto por demanda facturable como por consumo neto de energía, además de que este tipo de tarifas (H-S H-SL H-T H-TL) se ajustan mensualmente de acuerdo a consideraciones que incluyen las variaciones en los precios de los combustibles, así como la variación de un índice de precios productor de siete divisiones económicas [1]. Para estos casos en particular, los sistemas de generación propios basados en energías renovables son una muy buena opción para reducir los costos por consumo energético, ya que además de que pueden resultar sistemas auto-sustentables desde el punto de vista económico, pueden aprovecharse los apoyos gubernamentales como el establecido en el artículo 34, fracción XIII, de la Ley del Impuesto sobre la Renta que establece que se pueden deducir hasta el 100% de activos fijos para maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables o de sistemas de cogeneración de electricidad eficiente [2]. Aunado a lo anterior, otro aspecto de gran importancia asociado a este tipo de sistemas basados en energías renovables está el impacto ambiental benéfico.

Por otro lado, sobre este tema se han reportado una gran cantidad de trabajos, en los cuales se analiza la factibilidad de micro-redes basadas en energías renovables, pero por lo general se trata de instalaciones industriales de baja potencia [3], o aplicaciones residenciales [4]. Por lo general, en este tipo de análisis, se presentan micro-redes eléctricas propuestas en base a valores promedios de generación, suponiendo constantes todas las condiciones que afectan la operatividad del sistema durante todo el periodo de vida útil.

Asimismo, en la mayoría de estos trabajos no se considera una estrategia de control que permita aprovechar al máximo la energía generada por la micro-red.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para recrear de forma precisa la operación de la micro-red, y para contar con un modelo que sirviera para futuros estudios, una parte fundamental del presente proyecto consistió en el desarrollo de modelos detallados de los elementos de la micro-red, dentro de la herramienta Simulink de Matlab. Un esquema general del sistema utilizado se presenta en la Fig.1.

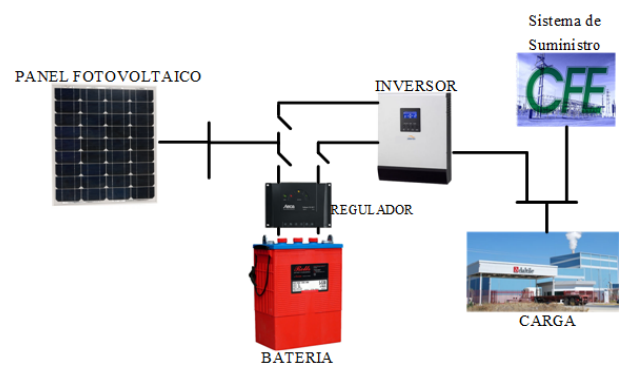


FIGURA 1: Sistema general para las simulaciones de control de flujo de potencia

A partir de la Fig.1 se observa que los principales elementos de la micro-red son el panel fotovoltaico, el inversor y la batería. En la Fig.2 se muestran los modelos de cada uno de estos elementos. Es importante señalar que en el caso de la batería y el panel fotovoltaico se utilizaron mediciones reales para caracterizar los modelos a partir de la herramienta de estimación de parámetros de Simulink.

Asimismo, como datos de entrada para el panel fotovoltaico se utilizaron mediciones de la radiación solar en la ciudad de Salamanca, Gto., obtenidas del Centro de Ciencias Atmosféricas de la Universidad de Guanajuato. En la Fig.3, a fin de ejemplificar el tipo de curvas utilizadas, se muestran los promedios de radiación solar obtenidos para cada día del mes de enero, durante los años 2006-2014.

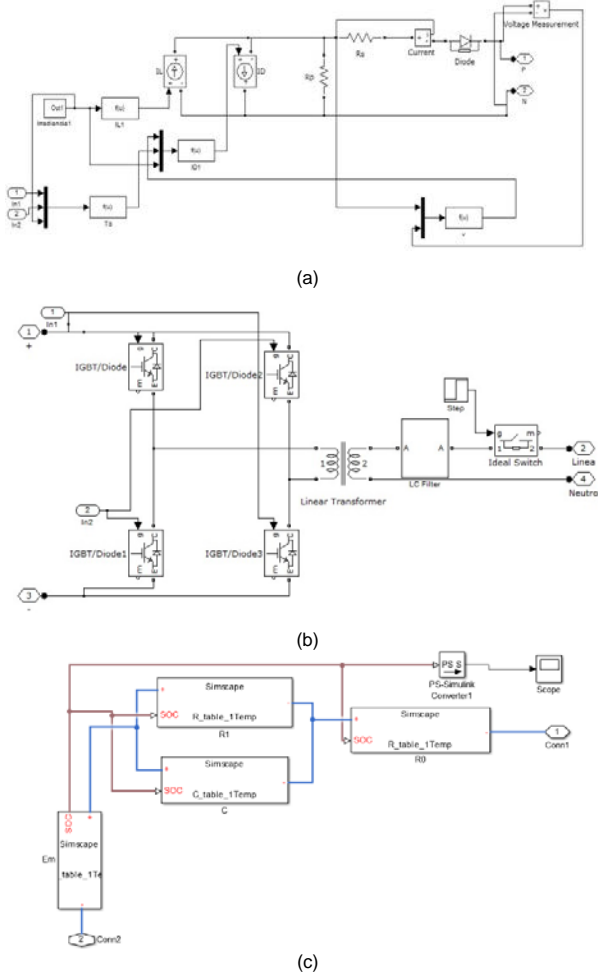


FIGURA 2: Modelos en Simulink. a) Panel Fotovoltaico. b) Inversor monofásico. c) Batería.

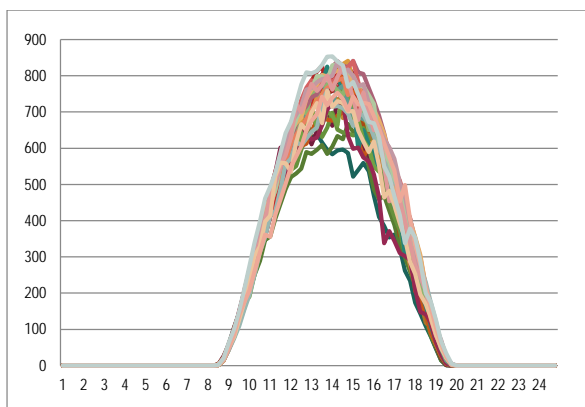


FIGURA 3: Radiación solar promedio en (W/m^2) para el mes de enero durante las 24 horas del día.

Para la validación de los modelos implementados en Simulink se realizaron pruebas para dos condiciones de operación; primero, sin considerar almacenamiento de energía. En este caso, toda la energía generada por los paneles fotovoltaicos se inyecta de forma directa a la carga, Fig. 4.

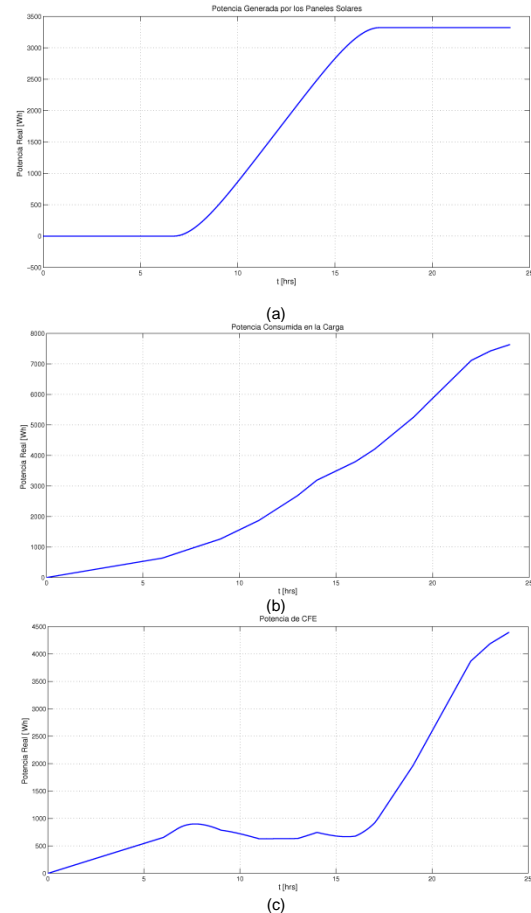


FIGURA 4: Operación sin almacenamiento de energía. a) Energía generada por la micro-red. b) Energía consumida por la carga. c) Energía aportada por CFE

Sin embargo, a fin de optimizar la operación de la micro-red, es necesario considerar el sistema de almacenamiento. Las curvas obtenidas para esta condición de operación, Fig.5, muestran como mediante el control adecuado, la energía generada por los paneles fotovoltaicos se puede dirigir hacia las baterías, Fig.5b. Una vez que las baterías se cargan completamente, la energía que continúan generando los paneles se utiliza para alimentar la carga, Fig. 5a, hasta que ya no existe radiación solar. Finalmente, la energía almacenada se

entrega a la carga en el horario punta, cuando la energía tiene un mayor costo, Fig. 5b.

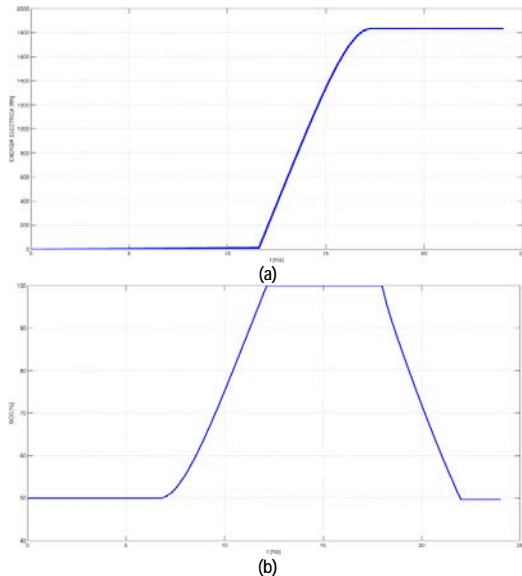


FIGURA 5: Operación con almacenamiento de energía. a) Energía generada por la micro-red. b) Energía en la batería

Una vez que se ha validado el desempeño del modelo del sistema, y dado que es posible obtener los valores de la potencia consumida y generada por la micro-red durante periodos de 24 horas, se plantea como caso de estudio principal el análisis económico derivado del consumo energético de la empresa Daltile México S. de R. L. de C. V. Ésta empresa se ubica en la ciudad de Salamanca, Gto., y actualmente tiene un contrato de servicio eléctrico con CFE dentro de la tarifa H-SL [5]. La Tabla 1 muestra el consumo energético de la empresa y el pago por éste rubro durante el mes de enero de 2015.

Tabla 1: Consumo energético de la empresa Daltile México sin considerar la operación de la micro-red (Tarifa H-SL) [5]

Concepto	Demanda	Concepto	Importe \$
Energía base kWh mensual	719,845	Energía	1,826,622.54
Energía Intermedia kWh mensual	1,106,680	Demanda Facturable	627,648.00
Energía Punta kWh mensual	267,116	Subtotal	2,454,270.54
Demanda Facturable	3,383	IVA 16%	392,683.28
		Total Mensual	\$2,846,953.82

El dimensionamiento de la micro-red se realiza considerando que, ésta, debe generar la energía necesaria para cubrir el consumo energético máximo de la empresa durante el horario punta en un día de la semana. Lo anterior resulta en un valor de 10,902.18 kWh.

Por otro lado, el sistema de almacenamiento se dimensiona para que pueda almacenar el 50% de la energía generada por la micro-red. Esto se realiza de acuerdo a los resultados obtenidos a partir de un estudio de optimización, desde el punto de vista económico, el cual por cuestión de espacio no se incluye en el presente trabajo.

En la Tabla 2 se resume la información concerniente a los componentes considerados para la micro-red, junto con el costo total de la inversión.

Tabla 2: Componentes de la micro-red fotovoltaica con sistema de almacenamiento

Componente	Núm. Componentes	Costo total (MXN)
Paneles fotovoltaicos ERDM320M6	5704	\$23,482,227.20
Inversor Growatt 5000	300	\$8,129,454.00
Estructuras	5704	\$11,408,000.00
Regulador Steca Tarom 45454	366	\$1,637,282.70
Batería Rolls S530	13,716	\$87,165,180.00
Inversión Total		\$131,822,143.90

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A fin de determinar el ahorro económico que se tendría al utilizar la micro-red con sistema de almacenamiento de energía, es necesario calcular la energía generada por la micro-red durante cada día del mes contemplado. En este caso, durante cada día, se determina la cantidad total de energía generada, una parte de esta energía es almacena y utilizada en el horario donde la tarifa es más elevada, y el resto se emplea en el horario correspondiente al momento en el que se genera. Los datos equivalentes para el mes de enero de 2015, con la micro-red y el sistema de almacenamiento en operación, se presentan en la Tabla 3.

Comparando los pagos mensuales de las Tablas 1 y 3, con la operación de la micro-red se tiene un ahorro de \$731,345.00 pesos.

Tabla 3: Consumo energético de la empresa Daltile México considerando la operación de la micro-red con un sistema de almacenamiento.

Concepto	Demanda	Concepto	Importe \$
Energía base kWh mensual	703,184	Energía	1,487,811.88
Energía Intermedia kWh mensual	972,415	Demanda Facturable	335,988.82
Energía Punta kWh mensual	119,929	Subtotal	1,823,800.70
		IVA 16%	291,808.11
		Total Mensual	\$2,115,608.82

Si se quisiera determinar un valor preciso del ahorro económico que se tendría durante todo el periodo de vida útil de la micro-red, se tendría que realizar un análisis similar para cada mes durante los siguientes veinte años. Para fines ilustrativos, si se considerara un ahorro similar durante cada mes, en veinte años se habrían ahorrado \$175,522,800.00 pesos lo que significa que, de acuerdo a la inversión considerada, se tendría un ahorro neto de \$43,700,656.10 pesos al final de los veinte años. De igual forma, esto significaría que la inversión se recuperaría en 15.02 años.

Como se estableció en un inicio, la mayoría de este tipo de estudios se realizan considerando valores promedio para la mayoría de los parámetros considerados en el estudio: valor promedio de la radiación solar mensual o anual, valor promedio de la energía generado por la micro-red, costo promedio por kWh consumido, etc., lo cual disminuye el grado de certidumbre que poseen los datos obtenidos. En la metodología propuesta, al utilizar datos reales y en intervalos de tiempo reducidos, 15 min, para la estimación futura de parámetros como la radiación solar, además de utilizar modelos matemáticos que arrojan valores muy cercanos a los que entregan los equipos físicos, se espera que los resultados obtenidos sean lo más preciso posible. Aunque en el ejemplo expuesto solo se presentan resultados detallados de la operación de la micro-red durante un mes, se establecen las bases para el análisis del periodo de vida útil completo, que abarcaría veinte años. De esta forma, se tendrían valores

más precisos de la ganancia neta y el tiempo de recuperación de la inversión.

CONCLUSIONES

El presente trabajo presenta una metodología que puede emplearse para la realización de análisis de factibilidad precisos, con relación a la instalación de micro-redes eléctricas constituidas por paneles fotovoltaicos y dispositivos de almacenamiento de energía. Para esto se desarrollan modelos matemáticos detallados de los componentes que conforman la micro-red, los cuales permiten obtener valores muy cercanos a los obtenidos con los equipos reales. En ese sentido, además de la determinación de los niveles de energía generados, los modelos propuestos pueden emplearse en aplicaciones más específicas como las relacionadas a la calidad de la energía inyectada por este tipo de micro-redes. Los resultados obtenidos validan la metodología propuesta y justifican el desarrollo y la utilización de los modelos empleados.

REFERENCIAS

- [1] Prospectiva del Sector Eléctrico 2013 - 2027. Secretaría de Energía. http://sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2013/Prospectiva_del_Sector_Electrico_2013-2027.pdf (Última consulta 13 de abril de 2015).
- [2] Ley del Impuesto sobre la Renta. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Artículo 34, Fracción XIII. <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LISR.pdf> (Última consulta 13 de abril de 2015).
- [3] Banda, D., Peña, R., Gutiérrez, G., Juárez, E., Visario, N., and Nuñez, C., (2013). Feasibility assessment of the installation of a photovoltaic system as a battery charging center in a mexican mining company. Proceedings of the IEEE Centro Occidente International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing, ROPEC'14.
- [4] Martínez-Patiño, J., Hernández-Figueroa, M- A., Ireta-Moreno, F., Rodríguez-Domínguez, A., y Sánchez-Razo, P., (2013). Análisis tecno económico para el uso de energía fotovoltaica para usuarios de alto consumo en el sector residencial. Memorias de la Reunión Internacional de Verano de Potencia, Aplicaciones Industriales y Exposición Industrial.
- [5] Comisión Federal de Electricidad. http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_nego_cio.asp?Tarifa=HSL&Anio=2015&mes=4 (Última consulta 15 de abril de 2015).