

# **DISEÑO DE UN BUS DE CD CON FUENTES ASIMÉTRICAS APLICABLE A ENERGÍAS RENOVABLES**

*DESIGN OF A DC BUS WITH ASYMMETRIC SOURCES  
APPLICABLE TO RENEWABLE ENERGIES*

**José María López Luévano**

Universidad Autónoma de Aguascalientes, México  
*Jose.lopezl@edu.uaa.mx*

**Luis Enrique Arámbula Miranda**

Universidad Autónoma de Aguascalientes, México  
*arambula@correo.uaa.mx*

**Felipe de Jesús Rizo Díaz**

Universidad Autónoma de Aguascalientes, México  
*felipe.rizo@edu.uaa.mx*

**Edgar López Delgadillo**

Universidad Autónoma de Aguascalientes, México  
*elopezd@correo.uaa.mx*

**Jorge Alberto Salinas Martínez**

Universidad Autónoma de Aguascalientes, México  
*jorge.salinas@edu.uaa.mx*

**Diego Salgado Jiménez**

Universidad Autónoma de Aguascalientes, México  
*diego.salgadoj@edu.uaa.mx*

**Recepción:** 6/noviembre/2019

**Aceptación:** 23/noviembre/2019

## **Resumen**

Los sistemas convencionales de energía enfrentan problemas que han conducido a la generación de manera local utilizando fuentes alternativas. En la búsqueda por mejorar el desempeño de las energías limpias, se han desarrollado una gran variedad de convertidores electrónicos. En este trabajo se presenta la propuesta de un bus de corriente directa, para demostrar que se puede manejar la energía de dos fuentes renovables asimétricas. Se presentan los conceptos teóricos utilizados, así como los cálculos de los parámetros de diseño. En función de los resultados de

simulación en Pspice de la microred propuesta, así como la implementación física de la misma se puede comprobar el buen desempeño del bus propuesto.

**Palabras Claves:** Bus, cd, energía renovable, micro red.

## **Abstract**

*Conventional energy systems face problems that have led to the local generation using alternative sources. In the search to improve the performance of clean energies, a wide variety of electronic converters have been developed. This paper presents the proposal of a direct current bus, to demonstrate that energy from two asymmetric renewable sources can be managed. The theoretical concepts used are presented, as well as the calculations of the design parameters. Depending on the simulation results in Pspice of the proposed micro-network, as well as its physical implementation, the good performance of the proposed bus can be verified.*

**Keywords:** Bus, dc, energy renewable, microgrids.

## **1. Introducción**

En todo el mundo, los sistemas convencionales de energía se enfrentan a los problemas del agotamiento gradual de los recursos fósiles, la escasa eficiencia energética y la contaminación ambiental. Estos problemas han conducido a una nueva tendencia de la generación de energía a nivel local utilizando fuentes de energía no convencionales/renovables como gas natural, biogás, energía eólica, celdas solares fotovoltaicas, celdas de combustible, producción combinada de calor. También se han hecho nuevos desarrollos en sistemas de potencia eléctrica, microturbinas, motores Stirling y su integración en la red de distribución. Este tipo de generación de energía se denomina “generación distribuida” y las fuentes de energía se denominan “recursos energéticos distribuidos” [Chowdhury, 2009].

Una microred es esencialmente una red activa de distribución debido a sus diferentes fuentes de energías renovables/no convencionales y las diferentes cargas de distribución de voltaje. Desde el punto de vista operativo, las micro-fuentes deben ser equipadas con interfaces electrónicas de potencia y controladores para proporcionar la flexibilidad necesaria y asegurar su

funcionamiento como sistema, mantener la potencia especificada y la calidad de la energía. Esta flexibilidad de control permitiría a la microred presentarse al sistema de energía de la red principal como una unidad controlada que satisfaga las necesidades locales de energía con confiabilidad y seguridad [Chowdhury, 2009].

Las energías renovables basadas en microredes de corriente directa (CD) están encabezando la electrificación de zonas rurales como se presenta en [Tank, 2015].

Las microredes de corriente directa son autosuficientes e independientes como sistemas de energía, las cuales incluyen una o más fuentes de generación de energía, así como sistemas de almacenamiento, sistemas de manejo de energía y sistemas de manejo de carga. Estos sistemas pueden estar o no conectados a la red eléctrica principal.

Las limitaciones que presenta la red de corriente alterna (CA) han creado la necesidad de tener sistemas de energía o microredes. Dichos sistemas pueden contribuir más a la sustentabilidad que a la degradación del medio ambiente.

Las microredes pueden utilizar convertidores CD-CD los cuales pueden tener una eficiencia de más del 95% de la energía según presenta [Tank, 2015].

La necesidad de un sistema para el manejo de energía se presenta en [Tank, 2015], [Haruni, 2012], [Bhende, 2011], [Chaphekar, 2006]. Donde éste debe ser capaz de manejar el banco de baterías y la carga de estas. El bus de CD donde se conectan los sistemas de generación debe de mantenerse constante para mantener un flujo balanceado de la energía a través de las cargas y las fuentes de energías conectadas a la red. Las variaciones del bus de energía pueden presentar fallas en la operación normal lo que puede ocasionar que todo el sistema colapse según presenta [Bhende, 2011]. Dentro de la literatura se pueden encontrar publicaciones sobre la eficiencia de conversión de sistemas fotovoltaicos como presenta [Raj, 2015]. Donde se cuenta con un arreglo de 36 celdas solares las cuales pueden ser conectadas en serie o paralelo para satisfacer la demanda de voltaje y corriente requeridos. Sin embargo, el arreglo anterior presenta pérdidas debido a la producción asimétrica de energía de las celdas. Esta se debe a la radiación no uniforme del sol y/o al fallo en el seguimiento del máximo punto de generación de energía. Esto produce pérdidas del 30% de la energía potencial del sistema entero.

La implementación en tiempo real es importante, porque, nos permite conocer el desempeño de nuestros sistemas. En [Pourmousavi, 2010] se presenta la implementación de un bus de CA para el manejo de la energía que se genera de un sistema híbrido, en [Loza, 2014] se presenta el prototipo de un laboratorio para microred, donde se implementa un bus de CA, así como un bus de CD.

En este trabajo se presenta la implementación en tiempo real de un bus de CD, donde podemos observar como las dos fuentes de generación aportan energía a la carga del sistema, el cual tiene dos fuentes generadoras de energía de manera asimétrica. La primera fuente de generación es a partir de una celda fotovoltaica, la segunda fuente de generación es un sistema de simulación de energía eólica.

## 2. Métodos

### Microred Propuesta

En la figura 1 se presenta un diagrama a bloques de la microred que se propone en este trabajo. Se observan dos componentes principales, las fuentes de energía y el bus de CD que los interconecta. Las fuentes de energía que se presentan son un panel fotovoltaico de 18 V y un generador eléctrico de 24 V. Estos sistemas están conectados a un punto de suma o bus de CD, el cual es controlado para mantener fijo el voltaje y la corriente que recibe la carga.

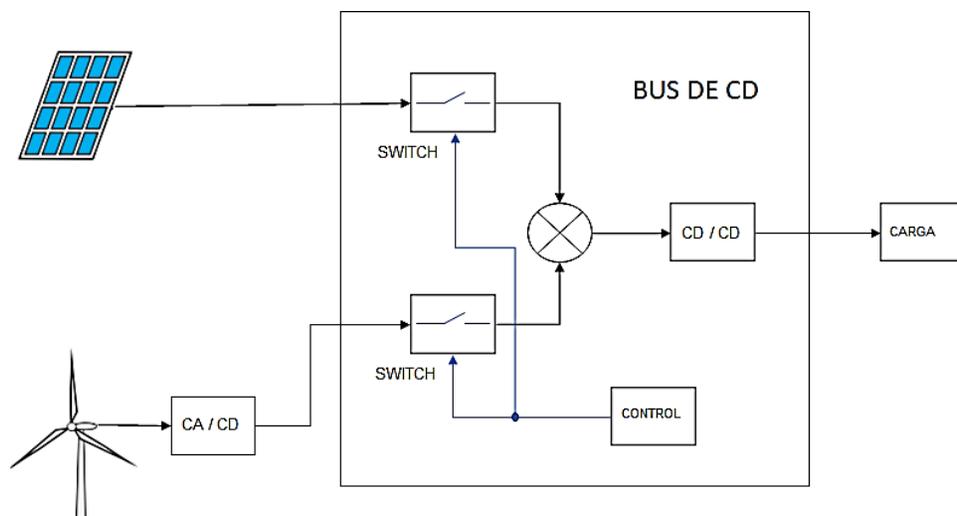


Figura 1 Diagrama a bloques de la microred.

El bus de CD consiste en dos conmutadores electrónicos y un convertidor CD-CD reductor como se presenta en la figura 2. Los conmutadores electrónicos conectan y desconectan la fuente de energía, al estar alternadas las fuentes entregan un porcentaje de energía a la carga cada una. Se propone una topología de convertidor CD-CD reductor para regular el voltaje que recibe la carga. La frecuencia con la que las fuentes se conectan y desconectan al convertidor 20 kHz. El objetivo del trabajo que se presenta es demostrar que se puede manejar energía de dos fuentes generadoras asimétrica.

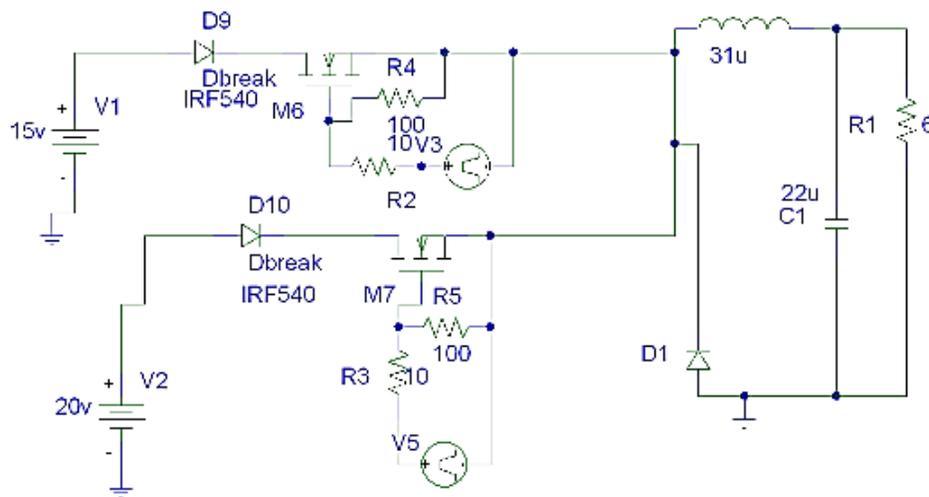


Figura 2 Circuito esquemático de la microred.

### Parámetros del Convertidor CD-CD

Las ecuaciones para el cálculo de los parámetros del convertidor se obtuvieron de [Rashid, 2004]. El convertidor CD-CD del tipo Buck reduce el voltaje de la fuente de entrada y lo regula en la salida. El convertidor se diseñó bajo los siguientes criterios:

- Mantener constante el voltaje promedio a 12 V.
- La carga conectada al circuito se eligió de manera arbitraria. Para este trabajo se usó una resistencia de 6  $\Omega$ .
- La frecuencia de conmutación se eligió en 20 kHz.
- La corriente promedio se eligió en 2 Amperes para proporcionar una potencia de 24 W.

- El pico de corriente máxima de salida se definió en 5 A y el pico de corriente mínima de 0.5 A.
- El pico de voltaje máximo de salida se definió en 2 V y el pico de voltaje mínimo de 0.5 V.

El cálculo del ciclo de trabajo se puede obtener mediante la ecuación 1.

$$k = \frac{V_s}{V_a} \quad (1)$$

Donde:

$V_s$  : Voltaje en la entrada.

$V_a$  : Voltaje deseado a la salida.

El ciclo de trabajo se calculó en 0.8 para la fuente de menor voltaje y 0.6 para la de mayor. Se utilizó un sistema con base en microcontrolador para generar los pulsos para el circuito de conmutación. El cálculo del inductor se puede obtener mediante la ecuación 2.

$$L = \frac{V_s * k * (1 - k)}{f * \Delta I} \quad (2)$$

Donde:

$k$  : El ciclo de trabajo

$f$  : Es la frecuencia

$\Delta I$  : La variación de la corriente de salida.

El valor del inductor calculado es de 26  $\mu$ H. Se utilizó un inductor de 31  $\mu$ H debido a la disponibilidad de estos valores en el mercado. El cálculo del capacitor se puede obtener mediante la ecuación 3.

$$C = \frac{V_s * k * (1 - k)}{8 * L * \Delta V * f^2} \quad (3)$$

Donde  $\Delta V$  es la variación del voltaje. El valor del capacitor calculado es de 16  $\mu$ F. Se utilizó un capacitor de 22  $\mu$ F debido a la disponibilidad de estos valores en el mercado.

## Simulación

La figura 2 presenta el diagrama esquemático que se simuló en el programa PSpice. Para la simulación se usaron dos fuentes asimétricas. La fuente con voltaje de 15 V simula la generación de un panel solar fotovoltaico, la fuente con voltaje de 20 V simula al generador eléctrico, ambas se acoplan al circuito de conmutación mediante diodos de potencia. La frecuencia de conmutación es de 20 kHz, el periodo de trabajo se calcula mediante la ecuación 4. El ciclo de trabajo calculado para el circuito de conmutación en el panel solar fotovoltaico es de 40  $\mu$ s. El ciclo de trabajo calculado para circuito de conmutación en generador eléctrico es 30  $\mu$ s.

$$t_{on} = \frac{V_{out}}{V_{in}} * \frac{1}{f} \quad (4)$$

La simulación del bus de CD se realizó utilizando una resistencia de 6  $\Omega$ , con lo que se pretende obtener una corriente de salida de 2 A y un voltaje de 12 V. La figura 3 presenta las formas de onda de la corriente en el generador eléctrico, en el panel fotovoltaico y en la resistencia de salida. Se puede observar que las fuentes aportan proporcionalmente corriente eléctrica. Se observa que la corriente promedio en la resistencia de carga es de 2 A.

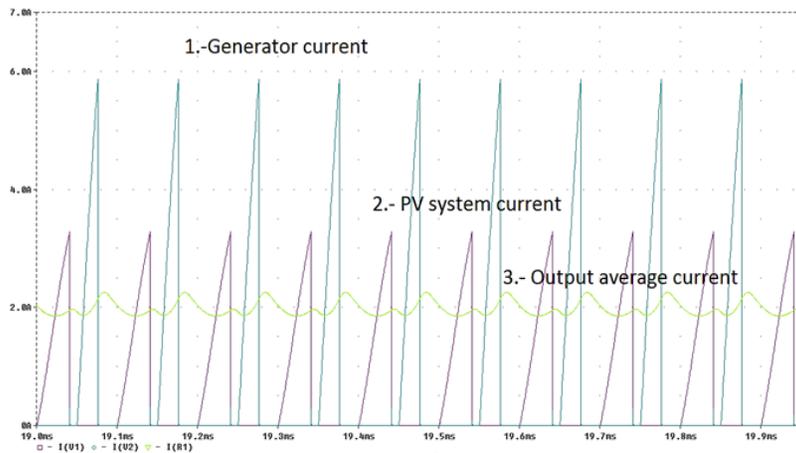


Figura 3 Graficas de las corrientes eléctricas.

En la figura 4 se presentan las formas de onda de los voltajes en las fuentes y en la salida del convertidor CD-CD. Se observa que el voltaje promedio de salida en la resistencia se encuentra regulado en 12 V.

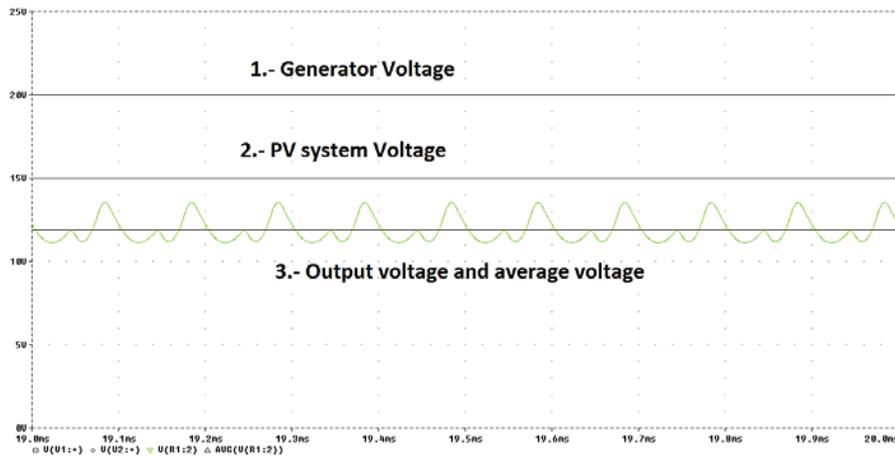


Figura 4 Formas de onda de los voltajes eléctricos.

La figura 5 presenta las potencias promedio entregadas por las fuentes. Se observa también que la potencia de salida es aproximadamente la suma de las potencias de entrada.

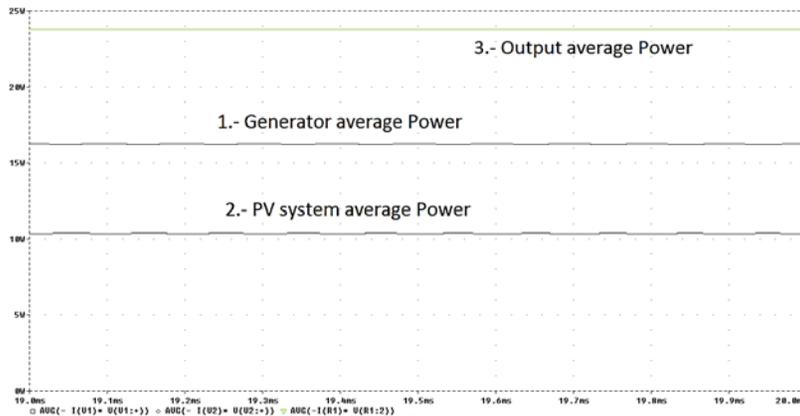


Figura 5 Gráficas de las potencias eléctricas.

### 3. Resultados

El sistema se implementó de manera física, además se utilizó un sistema de monitoreo y adquisición de datos, basado en el programa Labview, para validar el funcionamiento del bus. Este sistema obtiene los valores del voltaje en las fuentes mediante el dispositivo de National Instruments USB-6001, los valores de la corriente eléctrica son obtenidos por medio de sensores de corriente de efecto Hall, estos sensores permiten medir hasta 15 A. En la figura 6 se presentan las formas

de onda de la corriente eléctrica en el generador eléctrico (en azul), donde se observa que el pico de corriente es de 4 A, la corriente en el panel solar fotovoltaico (en amarillo) y se observa que el pico de corriente es de 2 A.

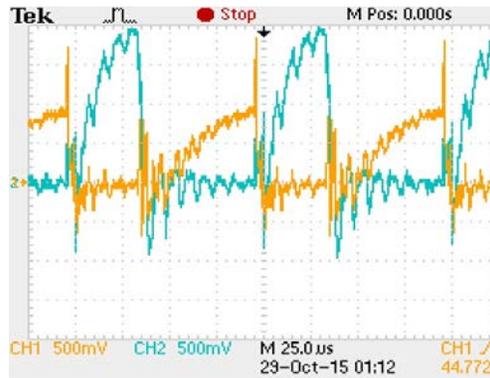


Figura 6 Formas de onda de la corriente eléctrica en las fuentes.

En la figura 7 se presentan las formas de onda de la corriente eléctrica en la carga de salida, donde se aprecia que la corriente promedio de salida (en amarillo) se mantiene en 2 A. Se presenta también el voltaje en la carga de salida (en azul), donde se observa que el promedio de voltaje se mantiene en 12 V.



Figura 7 Formas de onda del voltaje y corriente de salida del convertidor CD-CD.

En la figura 8 se presenta el sistema de monitoreo que se utilizó. Se presentan las gráficas de los voltajes y las corrientes de los sistemas conectados. Se presentan en los visualizadores las medidas de los voltajes promedio, así como las corrientes promedio y la potencia de salida.

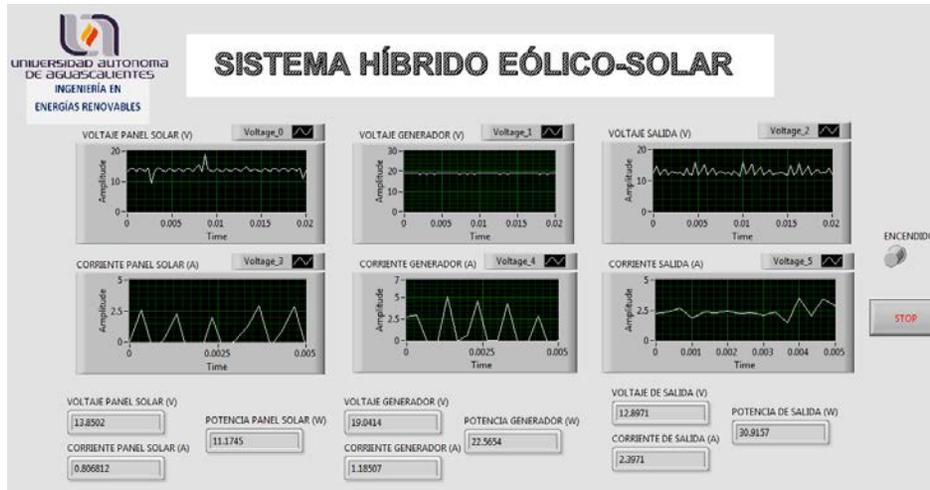


Figura 8 Programa para monitorear los voltajes y las corrientes de entrada y salida.

#### 4. Discusión

La importancia que han tomado las energías no convencionales se debe a los problemas que enfrentan los sistemas convencionales de generación. Dentro de la literatura se encuentran varias propuestas para mejorar el desempeño de las energías limpias. La propuesta presentada en este artículo pretende mejorar el desempeño de estas, obteniendo energía de las fuentes a pesar de que estas son diferentes. En la simulación se puede apreciar que se aporta energía de manera controlada. La potencia eléctrica requerida por la carga es suministrada por las dos fuentes. Los resultados experimentales demuestran la posibilidad de una mejora sustancial al desempeño de las fuentes renovables, así como la generación local con diferentes tipos de estas.

#### 5. Conclusiones

En este trabajo se presentó la simulación y la implementación de un sistema para conectar dos fuentes asimétricas. Las fuentes asimétricas pueden estar conectadas de forma que las dos proporcionen energía al sistema de manera proporcional. Se pudo observar que lo obtenido en la simulación es muy similar a lo obtenido en la implementación. Se presentó un circuito de conmutación, así como un convertidor CD-CD reductor, como base para la construcción del bus de CD. Se demostró que se puede manejar energía de dos fuentes generadoras asimétricas por medio el bus

de CD, permitiendo que cada fuente entregue un porcentaje de la energía que es demandada por la carga.

## **6. Bibliografía y Referencias**

- [1] Bhende, C., Mishra, S., & Malla, S. G. Permanent magnet synchronous generator based stand-alone wind energy supply system. *IEEE transactions on sustainable energy*. 361-373. 2011.
- [2] Chaphekar, S., Khatavkar, V., & Apte, A. Cogeneration an emerging trend in india for energy crisis. *IEEE International Conference on Industrial Technology*, 1613-1617. 2006.
- [3] Chowdhury, S., & Crossley, P. *Microgrids and Active Distribution Networks*. United Kingdom: Institution of Engineering and Technology. 2009.
- [4] Haruni, A. O., Negnevitsky, M., Haque, M. E., & Gargoom, A. A novel operation and control strategy for a standalone hybrid renewable power system. *IEEE transactions on sustainable energy*. 402-413. 2012.
- [5] Loza-Lopez, M. J., Sanchez, E. N., & Ruiz-Cruz, R. Microgrid laboratory prototype. *Clemson University Power Systems Conference*. 2014.
- [6] Pourmousavi, S. A., Nehrir, M. H., Colson, C. M., & Wang, C. Real-time energy management of a stand-alone hybrid wind-microturbine energy system using particle swarm optimization. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*. 193-201. 2010.
- [7] Raj, R. A., Dash, S. K., Dhattrak, R., & Nema, R. A comprehensive study on asymmetrical source configuration in conventional and novel multilevel inverter topologies for PV system. *International Conference on Technological Advancements in Power and Energy (TAP Energy)*. 266-271. 2015
- [8] Rashid, M. H. *Electrónica de potencia: circuitos, dispositivos y aplicaciones*. Pearson Educación. 2004.
- [9] Tank, I., & Mali, S. Renewable based DC microgrid with energy management system. *IEEE International Conference on Signal Processing, Informatics, Communication and Energy Systems (SPICES)*. 2015.