

# **SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE ENERGÍA BASADO EN LÓGICA DIFUSA APLICADO EN LABVIEW**

***Julio Cesar Peña Aguirre***

Tecnológico Nacional de México en Celaya

*m1603023@itcelaya.com*

***Agustín Ramírez Agundis***

Tecnológico Nacional de México en Celaya

*agustin.ramirez@itcelaya.com*

## **Resumen**

En este trabajo se presenta un sistema de administración para una micro-red de CD de 10 kW, incluyendo la distribución de energía de la misma. Este sistema se basa en un sistema difuso y se enfoca principalmente en la distribución de la energía entre los recursos energéticos (paneles fotovoltaicos, banco de baterías y red eléctrica principal) para satisfacer de manera suficiente la demanda. El uso del sistema de administración maximiza el uso de los recursos energéticos y optimiza la potencia intercambiada entre la red eléctrica principal y la micro-red. Las mediciones obtenidas mediante analizadores de energía, tanto para la generación de los paneles fotovoltaicos como para la demanda de la carga, se utilizan para la experimentación de la plataforma desarrollada, con resultados que muestran una eficiente administración de energía.

**Palabras Claves:** Administración de energía, Labview, Lógica difusa, Micro-redes de CD, Paneles fotovoltaicos.

## **Abstract**

*This paper presents a system of administration for a 10 kW DC microgrid, including the distribution of energy. This system is based on a fuzzy system and mainly focuses on the management of power between the energy resources*

*(photovoltaic panels, bank of batteries and mains) sufficient to satisfy the demand. The application of the management system maximizes the use of energy resources and optimizes the power exchanged between the electrical power supply and the microgrid. The measurements obtained by energy analyzers for the photovoltaic panels generation, as well as for the load demand are used for the development of the platform, with results that show an efficient power management.*

**Keywords:** *DC-Microgrid, Energy management, Fuzzy logic, Labview, Photovoltaic panels.*

## **1. Introducción**

Uno de los elementos más importantes para la operación de una micro-red de CD, aparte de los convertidores y los dispositivos de generación de energía, es el sistema de administración. En la literatura se reportan diferentes estrategias de administración de la energía; éstas se basan en máquinas de estados, lógica difusa [5], algoritmos de enjambre [12] y otras técnicas consideradas innovadoras. Las estrategias pueden ser desde muy sencillas hasta muy complejas, sin embargo, todas tienen un mismo fin, que es el máximo aprovechamiento de la energía generada provista por fuentes renovables.

Por ejemplo, en el trabajo [10], el propósito principal es la eliminación de pérdidas de energía en las conversiones de CA-CD-CA o bien CD-CA-CD, modelos y esquemas de coordinación de control propuestos para todos los convertidores, principalmente para mantener una operación estable del sistema bajo diferentes niveles de carga. Por su parte, en el trabajo de [9], la estrategia de administración de energía consiste en el control del flujo de potencia; la justificación para este tipo de estrategia considera la impedancia que poseen los elementos de la micro-red, las cargas que manejan y la transmisión de energía en el bus. El trabajo de [3] reporta una estrategia peculiar denominada “*Slack terminals*”, esto es, las terminales conectadas a la red de generación y a los sistemas de almacenamiento de energía y un control coordinado entre el convertidor conectado a la red y el sistema de almacenamiento de energía durante la operación normal y aislada. Otro trabajo de este mismo investigador [4] utiliza un control de lógica difusa para

lograr un equilibrio de potencias y prolongar la duración de la carga en la batería. El trabajo publicado por [8] hace mención de una técnica de administración basada en el seguimiento mínimo de corriente en la micro-red.

Existen diversas técnicas de administración que, a su vez, poseen al menos tres niveles de jerarquía, los cuales suelen ser el control primario, que es el de cada convertidor, control secundario encargado de la coordinación y de los problemas que suelen surgir entre los dispositivos utilizados y, por último, el control terciario o de nivel superior, encargado de la tarea de la distribución de la energía generada, almacenada y demandada [7,12, 11].

Dentro de los tipos de control existen tres categorías: centralizado, descentralizado e híbrido. Cada uno de estos controles tiene ventajas respecto a los otros. Por ejemplo, para el control descentralizado su ventaja principal es que no necesita comunicación entre sus dispositivos, ya que con el monitoreo de las variables locales puede tomar decisiones [1], mientras que en el control centralizado e híbrido la comunicación es importante, y el tiempo de respuesta se convierte en una variable crítica, en donde el híbrido tiene una mayor ventaja [6].

En este artículo se presenta el diseño de un sistema de administración basado en lógica difusa, para una micro-red de CD de 10 kW, con una clasificación centralizada.

Las características a seguir por parte de la micro-red de CD son:

- Estabilidad.
- Fiabilidad.

La estabilidad de la micro-red se pretende alcanzar por medio de los controles individuales y del sistema de administración que posee la micro-red, mientras que la característica de fiabilidad se logra por el uso de tecnología asimilada de *National Instruments*, como lo es la tarjeta NI MyRIO, la cual ha sido probada en proyectos similares al que se está reportando [2, 13]. Este trabajo consta de las siguientes secciones: métodos, desarrollo, resultados y discusión.

## 2. Métodos

A continuación, se presenta la arquitectura de la micro-red en la que se aplica el administrador de energía, una breve introducción a la lógica difusa con la cual se está desarrollando el administrador, una descripción del sistema de administración y de los elementos que conforman la micro-red, incluyendo los modos de operación del sistema y, por último, la programación en LabVIEW.

### Arquitectura de la micro-red

La arquitectura de esta micro-red se muestra en la figura 1, donde se aprecia que hay dos buses de CD uno de 190 VCD y otro de 380 VCD, un convertidor bidireccional CD/CA trifásico para la inyección/consumo de la energía a y desde la red, 29 convertidores CD/CD, siendo uno de ellos también bidireccional dedicado a la carga y descarga del banco de baterías. En la figura 1 también se muestra la distribución de la comunicación, así como la ubicación de las protecciones. La micro-red está concebida para alimentar un edificio donde se ubican cubículos de trabajo para profesores, oficinas administrativas y sala de reuniones.

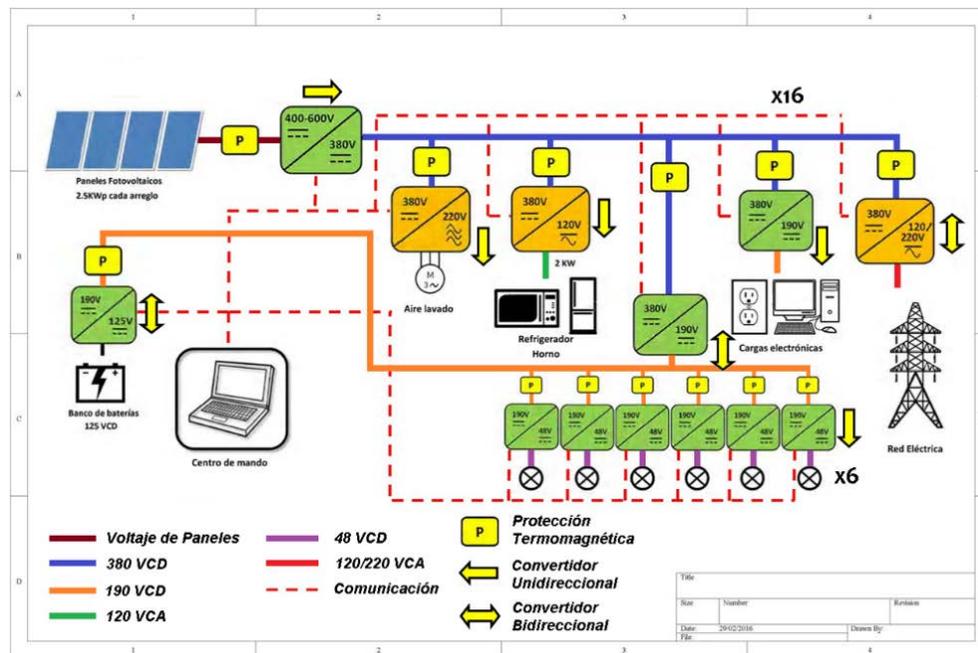


Figura 1 Micro-red de CD 10kW.

La tabla 1 muestra de manera más detallada la descripción de los convertidores, entre los cuales están el convertidor bidireccional CA/CD que lleva a cabo la interconexión con la red de suministro en CA, posee un voltaje de 220 Vrms a 60 Hz en el lado de CA y de 380 VCD en el de CD, a una potencia de 3.3 kW.

Tabla 1 Elementos de la micro-red de 10kW.

Convertidor	Voltaje de entrada	Voltaje de salida	Aplicación	Potencia
Bidireccional CA/CD	220 Vrms, 60 Hz	380 VCD	Interconexión a la red	3.3 kW
Bidireccional CD/CD	380 VCD	120 VCD	Banco de baterías	1.2 kW
CD/CD	120 VCD	380 VCD	Arreglo de paneles fotovoltaicos	2.5 kW
CD/CD	380 VCD	190 VCD	Cargas típicas de oficina,	2.5 kW
CD/CD	190 VCD	48 VCD	Iluminación de estado sólido	2.5 kW
CD/CD	48 VCD	Variable con corriente constante	Iluminación de estado sólido	50 W por luminaria
CD/CA	380 VCD	220 Vrms, 60 Hz	Cargas grandes como motores	2.2 kW

El segundo convertidor que se muestra en la tabla 1, es el bidireccional CD/CD con conexión al banco de baterías con un voltaje de 120 VCD y un voltaje de conexión al bus de 380 VCD, a una potencia de 1.2 kW, su función es la de realizar la carga o descarga del banco de baterías. El tercer tipo de convertidor a utilizar en la micro-red es un unidireccional CD/CD con un voltaje de 120 VCD a la entrada y 380 VCD a la salida, para aplicación de los paneles solares con una potencia de 2.5 kW.

Otro tipo de convertidor es el unidireccional CD/CD, con una entrada de 380 VCD y salida de 19 VCD con una potencia de 2.5 kW para la alimentación de las cargas de oficina, por ejemplo, computadoras de escritorio y portátiles, impresoras, etc. Los convertidores de este tipo se localizarán dentro de cada cubículo de los profesores.

En la misma tabla se describe otro de los convertidores para la micro-red que es el CD/CD con voltajes de 190 VCD a la entrada con 48 VCD a la salida a una potencia de 2.5 kW para las luminarias de estado sólido. Cada luminaria llevará un

convertidor de entrada 48 VCD con corriente constante a la salida con voltaje variable y una potencia de 50 W por luminaria.

Por último, se tiene un tipo de convertidor CD/CA para las cargas grandes, como motores, con una potencia de 2.2 kW, con 380 VCD a la entrada y 220 Vrms a 60 Hz en la salida.

### Lógica difusa

La lógica difusa ha tenido gran aplicación en diversas áreas de interés desde la robótica hasta aplicaciones en las energías renovables, una de las principales razones por las que los investigadores de diversos campos se inclinan a favor de esta lógica es que no son necesarios modelos matemáticos complejos para su diseño. La lógica difusa posee tres etapas, la primera la etapa de fusificación, la segunda etapa de interpretación o inferencia y la tercera de defusificación [14].

### Generador fotovoltaico

La corriente generada por parte de los generadores fotovoltaicos se representa a partir de la ecuación 1, la cual se obtiene del circuito equivalente del panel solar que se muestra en la figura 2.

$$I = I_{pv} - I_o \left[ e^{\frac{V + I R_s}{V_T}} - 1 \right] - \left[ V + \frac{I * R_s}{R_p} \right] \quad (1)$$

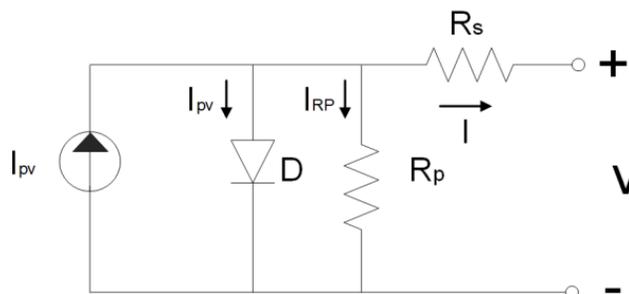


Figura 2 Circuito equivalente de panel solar.

Donde  $I$ ,  $I_{pv}$  y  $I_o$  son las corrientes del panel, irradiación y de saturación,  $V$  es el voltaje del panel fotovoltaico,  $R_p$  y  $R_s$  son las resistencias en paralelo y serie

respectivamente y  $V_T$  es el voltaje de panel a una temperatura  $T$ , representado por ecuación 2.

$$V_T = \frac{KT}{q} \quad (2)$$

Donde  $K$  es la constante de Boltzman,  $T$  es la temperatura en grados kelvin y  $q$  es la carga de un electrón. La potencia del panel está expresada por ecuación 3.

$$P_{pv} = I * V_{pp} \quad (3)$$

Donde  $I$  es la corriente del panel y  $V_{pp}$  es el voltaje del bus de CD.

### Almacenamiento de energía

Cuando la potencia demandada en la micro-red es menor a la potencia de los paneles solares, la corriente del sistema de almacenamiento se comporta bajo la expresión matemática (4).

$$I_{se}(t) = \sum_{\substack{K=1 \\ y=1}}^{n_{pv} * n_m - 1} [I_{pvk}(t) - I_{my}(t)] \quad (4)$$

Donde  $I_{se}(t)$  es la corriente de carga del sistema de administración de energía,  $I_{sLx}(t)$  y  $I_{my}(t)$  son las corrientes del panel y carga de la micro-red en el tiempo  $t$ ,  $n_{pv}$  es la cantidad de paneles solares,  $n_m$  es la cantidad de cargas en la micro-red. Cuando la potencia provista por parte de los paneles es menor a la demandada por la micro-red, el sistema de almacenamiento se comporta como fuente de acuerdo a la fórmula (5).

$$I_{sLx}(t) = \begin{cases} \sum_{\substack{K=1 \\ y=1}}^{nds-1, n_a} [I_{dsk}(t) - I_{Ly}(t)]; \text{ if } \Delta I_{eL} < I_{sLr} \\ I_{sLr}(t); \text{ if } \Delta I_{eL} \geq I_{sLr} \end{cases} \quad (5)$$

Donde  $I_{sLx}(t)$  y  $I_{sLr}(t)$  son las corrientes de alimentación del sistema en el tiempo  $t$ ;  $I_{dsk}(t)$  es la corriente de la fuentes de energía de la micro-red y  $I_{Ly}(t)$  es

la corriente de la carga respectivamente;  $n_c$  es el número de cargas y  $n_{es}$  es el número de elementos de almacenamiento de energía.

$\Delta I_{eL}(t)$  es la diferencia entre la corriente de todas las fuentes de energía y la corriente de la carga, expresada por la ecuación 6.

$$\Delta I_{eL}(t) = \sum_{\substack{K=1 \\ y=1}}^{nds-1} [I_{dsk}(t) - I_{Ly}(t)] \quad (6)$$

Donde la corriente de referencia en el sistema de almacenamiento de energía se expresa de acuerdo a la ecuación 7.

$$I_{sxLr}(t) = \left( \frac{\psi_{sx}(t)}{100} \right) * \rho_{sx} \quad (7)$$

$\rho_{sx}$  es una constante que depende de la clasificación del sistema de almacenamiento y  $\psi_{sx}(t)$  es el estado de la carga.

Cuando el sistema de almacenamiento se comporta como fuente, su potencia se expresa respecto la ecuación 8.

$$P_{es} = I_{sLx} * V_{es} \quad (8)$$

Donde  $V_{es}$  es el voltaje nominal del sistema de almacenamiento.

### Red eléctrica principal

Cuando la potencia demanda es mayor a la potencia otorgada por la micro-red (paneles y sistema de almacenamiento), la corriente de la red eléctrica  $I_{re}(t)$  se expresa bajo la expresión (9):

$$I_{re}(t) = \sum_{K=1}^{nds} I_{dsk}(t) - \sum_{y=1}^{na} I_{Ly}(t) \quad (9)$$

La potencia utilizada por la red eléctrica es el producto de la corriente en la micro-red a través de la red,  $I_{gl}$ , y el voltaje nominal,  $V_{re}$ , lo anterior se expresa con la ecuación 10.

$$P_{re} = I_{re} * V_{re} \quad (10)$$

## Desarrollo

El sistema de administración desarrollado tiene por objetivo aprovechar el máximo la energía generada, y distribuirla entre las cargas, sistemas de almacenamiento y la red, conservando el criterio general de estabilidad para la micro-red.

## Modos de Operación

En el sistema de administración de energía de la micro-red se presentan diversos modos de operación, como lo son:

- *Modo no aislado.* El sistema de administración entra en este modo de operación cuando la demanda por parte de las cargas de la micro-red supera a la energía generada por los paneles. Este modo se presenta regularmente en la noche cuando hay algunas cargas conectadas y no se produce energía. Esto se representa con ecuación 11.

$$\sum_{k=1}^{na} P_{Ly}(t) = \sum_{k=1}^{ng} P_{dsk}(t) + P_{re}(t) \quad (11)$$

Donde  $na$  es el número de cargas conectadas a la red,  $ng$  es el número de paneles conectados,  $P_{Ly}$  es la potencia demandada,  $P_{dsk}$  es la potencia de los paneles solares y  $P_{re}$  es la potencia de la red eléctrica.

- *Modo aislado.* Este modo se presenta cuando la potencia generada por los paneles solares es mayor que la demandada y no hay energía de la red, entonces el banco de baterías pasa a modo fuente (descarga de las baterías), este modo de operación se expresa con ecuación 12.

$$\sum_{y=1}^{na} P_{Ly}(t) = \sum_{k=1}^{nps} P_{dsk}(t) \quad (12)$$

Donde  $P_{Ly}$  es la potencia de demanda de la micro-red,  $P_{dsk}$  es la potencia que se suministra a la red por parte de los paneles solares y el banco de baterías y  $nps$  son la cantidad de fuentes de energía que hay en la micro-

red ( $nps = npv + 1$ ). Mientras para la carga (cuando el banco de baterías actúa como carga) la potencia se expresa de la ecuación (13):

$$\sum_{y=1}^{n_m} P_{Lmy}(t) = \sum_{k=1}^{n_{pv}} P_{d_{gk}}(t) \quad (13)$$

$P_{Lmy}$  es la potencia de demanda en la micro-red más la potencia con la que se está cargando el banco de baterías,  $P_{d_{gk}}$  es la potencia de generación por parte de los paneles solares

- *Modo red y batería.* Cuando la energía almacenada sea insuficiente y la potencia generada sea cero o insuficiente, para obtener el balance de la energía que se demanda, entra en operación el modo red-batería, que se expresa con la ecuación 14.

$$\sum_{y=1}^{n_m} P_{Ly}(t) = \sum_{k=1}^{n_{ps}} P_{d_{sk}}(t) + P_{re}(t) \quad (14)$$

Donde  $P_{Ly}$  es la potencia de demanda de la micro-red,  $P_{d_{sk}}$  es la potencia de las fuentes de energía en la micro-red (paneles solares y banco de baterías) y  $P_{re}$  es la potencia de la red eléctrica.

### Programación de LabVIEW

El administrador consiste en un sistema de lógica difusa que tiene 6 entradas (red, baterías, potencia demandada, potencia generada, potencia generada menos potencia demandada, acción de carga); con 3 salidas (acción carga, acción red, acción batería).

En la figura 3 se muestra el panel frontal del administrador. Este se estructura de manera que un primer grupo de indicadores se localiza en el cuadro de la esquina superior izquierda; entre estos indicadores están el de potencia generada, potencia demandada y la diferencia entre ambos; también se observa de manera gráfica el indicador del SOC (*State Of Charge*, por sus siglas en inglés); en este mismo recuadro están dos controles, el control de red que es de tipo booleano,

con el cual el usuario establece la disponibilidad de red; el segundo control es el encargado de seleccionar el día a simular.

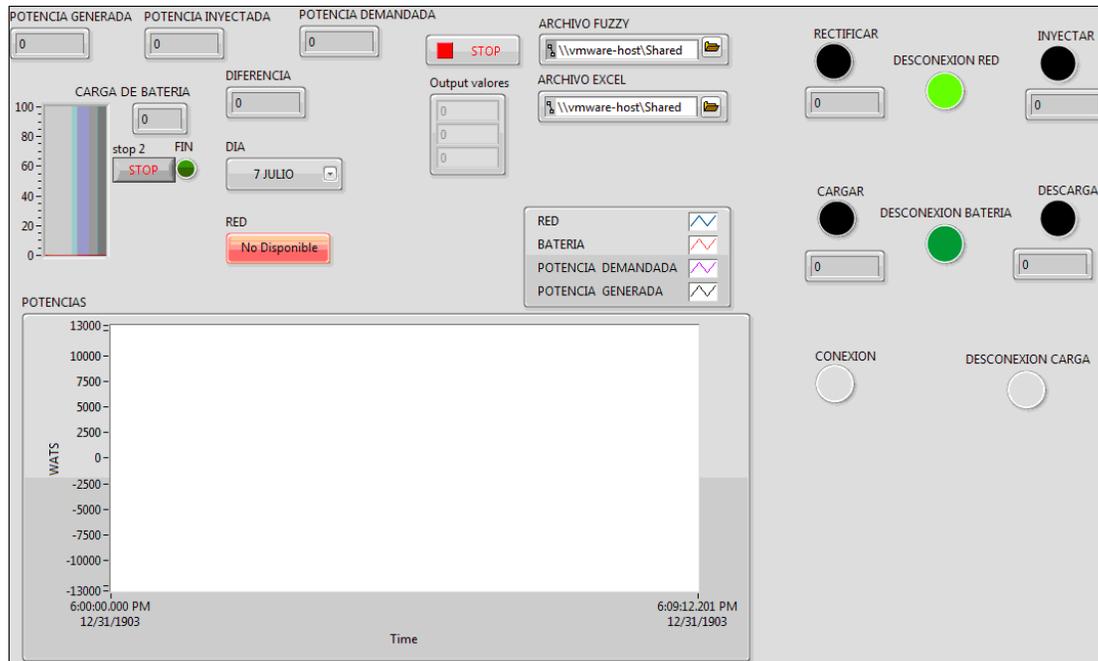


Figura 3 Panel frontal administrador de 10 kW.

En el segundo recuadro está el control de Stop, el cual se encarga de detener el programa, los controles archivo Excel y fuzzy, son para cargar los archivos fuente. Por último, este recuadro tiene un indicador con el valor numérico de cada una de las salidas difusas.

El resto de los recuadros son para indicar el estado de la acción de la red (consumo, desconexión, inyección); está además un indicador para saber el número de veces que se accionó el consumo o la inyección de red en un día.

Igual sucede con la acción de baterías, se tiene el mismo número de indicadores que indican el estado carga, descarga o desconexión de las baterías, así mismo se tiene un indicador que muestra la cantidad de veces que entraron en carga y descarga durante un día simulado.

Para la acción de cargas se tiene la indicación de conexión y desconexión, también se indica cuál carga está disponible para su conexión, ya sea el aire acondicionado, el horno o el refrigerador, la iluminación o bien los cubículos; en

este mismo recuadro el usuario puede decidir que carga usar. El último indicador corresponde al flujo de energía.

En la figura 4 se observa el diagrama a bloques del administrador donde se muestran las conexiones entre los elementos que conforman el VI, en esta figura 4 se observa el uso de 5 subVIs que son el subVI de conexión y desconexión, el control de uso, el de simulación de carga, y simulación del SOC de la batería. Y por último el subVI de la interfaz de simulación de datos de Excel.

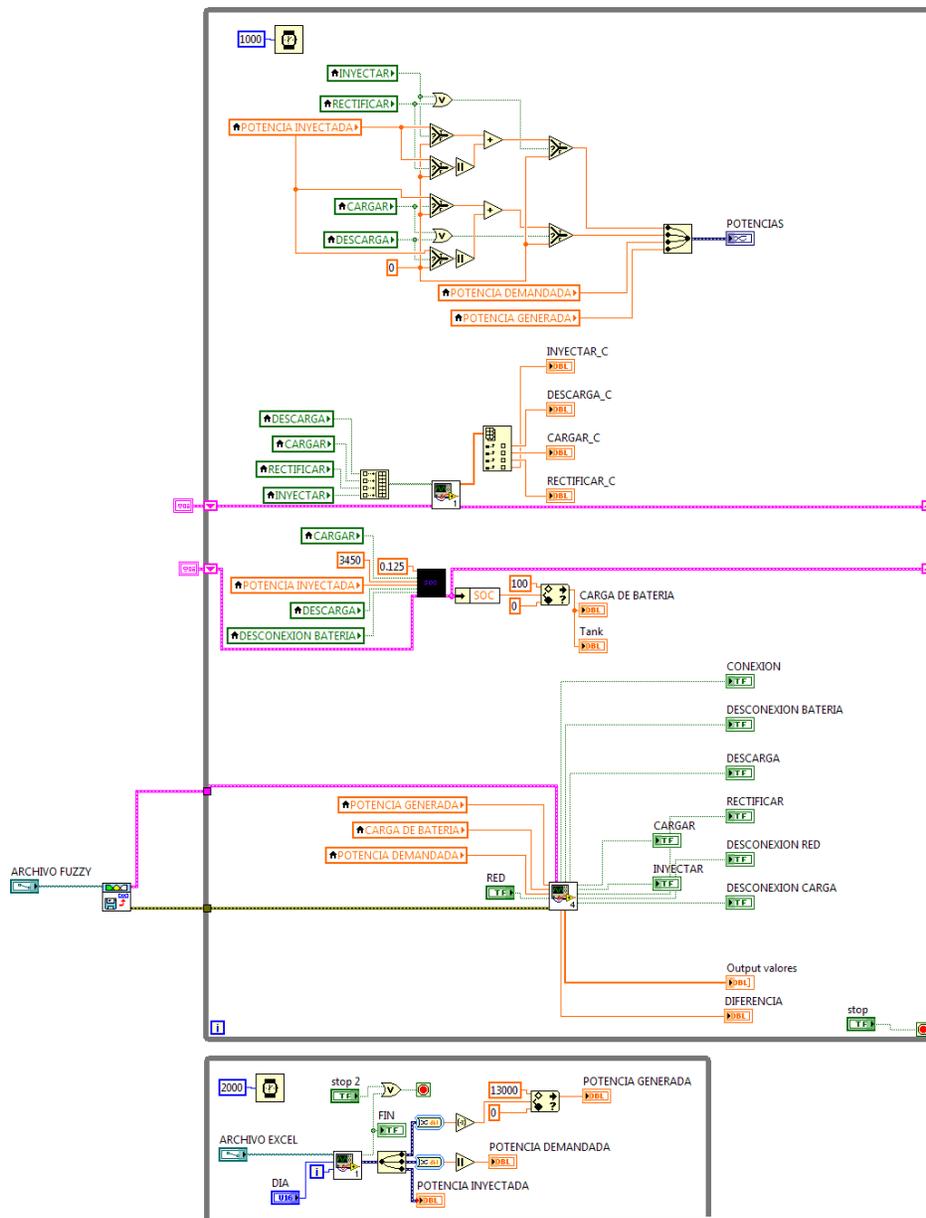


Figura 4 Diagrama a bloques administrador 10 kW.

### 3. Resultados

Para estos resultados se usaron datos adquiridos por medio de analizadores de energía, del 7 de Julio al 7 de agosto del 2017, siendo y datos de potencia de consumo y de generación; posteriormente se pasaron a hojas de cálculo para su interpretación y simulación por medio de la herramienta LabVIEW, en la cual se estableció un tiempo de barrido de 1 segundo.

A continuación se presentan los resultados simulados de los días más significativos durante el tiempo de adquisición, entre los cuales tenemos días nublados que se traducen en caídas de la potencia generada por los paneles solares, por otro lado, también se analizarán días con pleno sol.

En la figura 5 se pueden apreciar los resultados de la administración de energía para el día 7 de Julio del 2017, donde se tuvo un consumo bajo de energía.

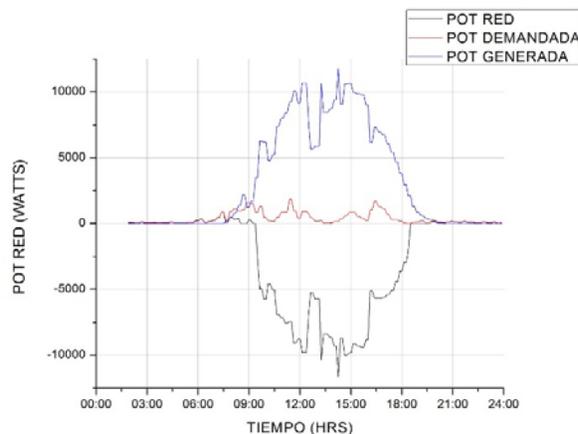


Figura 5 Generación, consumo e inyección.

De acuerdo a la gráfica, este día tuvo algunos lapsos de nubosidad que se reflejan en la gráfica de generación, sin embargo, se tuvieron picos de generación de energía a lo largo de 3 horas oscilando entre 5 y 10 kW; el flujo de potencia demandada tuvo picos de 2 kW, de modo que en el día se inyectó a la red casi toda la energía generada.

En las acciones de administración se aprecia que cuando la demanda en la micro-red es mayor a la potencia generada, la red eléctrica aporta la diferencia de energía para hacer el balance de potencias; la energía generada es 0 durante la noche, generalmente entre las 20:00 horas y las 7:00 horas del día siguiente.

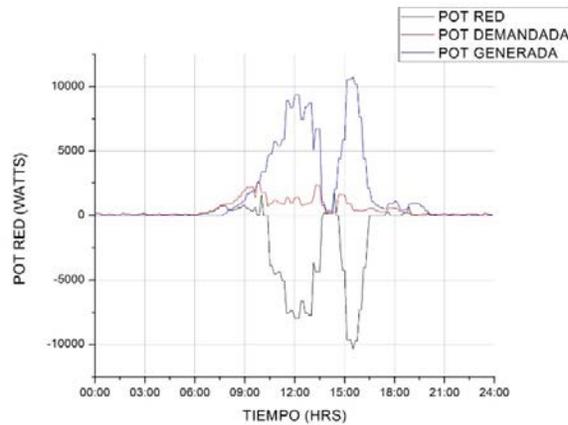


Figura 6 Generación, consumo e inyección.

En la figura 6 se muestra el manejo de energía por parte del administrador; hubo un lapso comprendido entre las 13:00 horas y las 15:00 horas donde la energía generada tuvo una caída. El mismo día, debido a la demanda de potencia entre 6:00 horas y 10:30 horas, se aplicó el modo red para compensar el desbalance entre la potencia demanda y la disponible.

En la figura 7 se muestra el consumo del día 15 de Julio, donde se tuvo una generación más estable y sin nubosidad que la perturbara. Debido a que la medición se realizó durante el periodo vacacional de verano, la demanda fue baja de modo que se inyectó a la red casi la totalidad de los aproximadamente 12 kW que se tuvo como pico más alto de potencia.

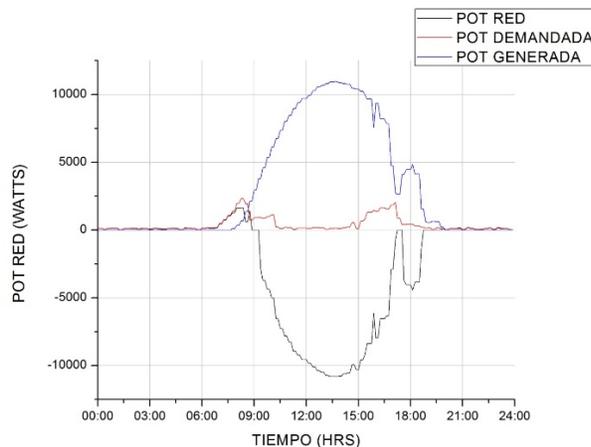


Figura 7 Generación, consumo e inyección.

## 4. Discusión

Este documento propone un sistema de gestión de energía inteligente para la micro-red de CD que tiene la capacidad de ofrecer una selección de fuente basándose en la prioridad de la fuente más barata, con el criterio de mantenimiento.

El sistema de administración presenta un funcionamiento estable, ante perturbación en la generación; esto es debido a su programación en la cual se consideraron todos los casos posibles.

Se muestra en los resultados el tiempo de uso de la red eléctrica, el cual es principalmente en horas de oscuridad o cuando la potencia generada es baja o nula. Los datos de generación aportan información importante, como las consideraciones en la cantidad de potencia generada, inyectada y consumida, a pesar de ser sólo simulación, aunque con datos reales, cada una de las gráficas muestra en la energía inyectada el total que se puede llegar a aprovechar.

También este administrador considera ciertos aspectos de modo que se pueda integrar a cualquier micro-red específica sin dificultades mayores.

## 5. Bibliografía y Referencias

- [1] Anand, S., Fernandes, B. G., & Guerrero, J. (2013). Distributed control to ensure proportional load sharing and improve voltage regulation in low-voltage DC microgrids. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 28(4), 1900-1913.
- [2] Chauhan, R. K., Phurailatpam, C., Rajpurohit, B. S., Gonzalez-Longatt, F. M., & Singh, S. N. (2017). Demand-Side Management System for Autonomous DC Microgrid for Building. *Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy*, 2(1), 4.
- [3] Chen, D., & Xu, L. (2012). Autonomous DC voltage control of a DC microgrid with multiple slack terminals. *IEEE Transactions on Power Systems*, 27(4), 1897-1905.
- [4] Chen, Y. K., Wu, Y. C., Song, C. C., & Chen, Y. S. (2013). Design and implementation of energy management system with fuzzy control for DC

- microgrid systems. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 28(4), 1563-1570.
- [5] Cheng, C. H. (2016). Implementation of a Small Type DC Microgrid Based on Fuzzy Control and Dynamic Programming. *Energies*, 9(10), 781.
- [6] De los Santos Vázquez, A., Segura, E. J. J. R., & Cruz, N. V. (2016). Modelado, control y simulación de elementos básicos que componen una micro red de CD. *Pistas Educativas*, 36(112).
- [7] Guerrero, J. M., Vasquez, J. C., Matas, J., De Vicuña, L. G., & Castilla, M. (2011). Hierarchical control of droop-controlled AC and DC microgrids—A general approach toward standardization. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58(1), 158-172.
- [8] Lee, C. T., Chuang, C. C., Chu, C. C., & Cheng, P. T. (2009, September). Control strategies for distributed energy resources interface converters in the low voltage microgrid. In *Energy Conversion Congress and Exposition, 2009. ECCE 2009*. IEEE (pp. 2022-2029). IEEE.
- [9] Li, Y. W., & Kao, C. N. (2009). An accurate power control strategy for power-electronics-interfaced distributed generation units operating in a low-voltage multibus microgrid. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 24(12), 2977-2988.
- [10] Liu, X., Wang, P., & Loh, P. C. (2011). A hybrid AC/DC microgrid and its coordination control. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2(2), 278-286.
- [11] Mao, M., Jin, P., Hatziargyriou, N. D., & Chang, L. (2014). Multiagent-based hybrid energy management system for microgrids. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 5(3), 938-946.
- [12] Meng, L., Savaghebi, M., Andrade, F., Vasquez, J. C., Guerrero, J. M., & Graells, M. (2015, March). Microgrid central controller development and hierarchical control implementation in the intelligent microgrid lab of Aalborg University. In *Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2015 IEEE* (pp. 2585-2592). IEEE.
- [13] Mituleț, I. A., nedelcu, a., nicolaie, s., & chihai, r. A. (2016), Labview design and simulation of a small scale microgrid.

- [14] Montiel, O., Maldonado, Y., Sepulveda, R., & Castillo, O. (2008, May). Simple tuned fuzzy controller embedded into an FPGA. In *Fuzzy Information Processing Society, 2008. NAFIPS 2008. Annual Meeting of the North American* (pp. 1-6). IEEE.
- [15] Tank, I., & Mali, S. (2015, February). Renewable based DC microgrid with energy management system. In *Signal Processing, Informatics, Communication and Energy Systems (SPICES), 2015 IEEE International Conference on* (pp. 1-5). IEEE.