

**TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA
TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019
OCTAVO SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA SENE 2019.**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata

Algoritmo de control para la administración de una micro red

Schenberger, Leonardo Ariel; Bordón, Cesar Francisco; Berterame, Franco; Penco, José Jorge; Chezzi, Carlos María.

schenbergerleonardo@gmail.com, fran-bordon@hotmail.com, franco_berte@hotmail.com, jpenco@frcon.utn.edu.ar, carlos_chezzi@frcon.utn.edu.ar

Grupo de Investigación en Modelado, Simulación y Control (GIMOSIC), UTN – FRCON, Salta 277, Ciudad de Concordia, Pcia. Entre Ríos, Argentina, Tel: +54-345-421-4590, gimosic@frcon.utn.edu.ar.

Resumen – Los países desarrollados poseen dentro de su matriz energética un porcentaje importante de energías renovables. En Argentina, en la actualidad, un bajo porcentaje de la energía eléctrica total generada proviene de fuentes renovables. Esto trae como consecuencia la emisión de contaminantes y una explotación indiscriminada de recursos naturales limitados. El fomento del uso de alternativas renovables y de eficiencia energética es un requisito primordial para reducir el daño climático, propiciar nuevas políticas, estimular la sustentabilidad y lograr una adecuada competitividad de la industria.

La gestión eficiente de energías con recursos renovables posibilita la distribución de energía eléctrica entre los proveedores y los consumidores a través de micro redes eléctricas inteligentes, con la integración de tecnologías digitales, redes eléctricas y fuentes de generación. Los elementos principales de una micro red inteligente son: sistemas de generación distribuida, sistemas de almacenamiento de energía, y sistemas de monitorización y control del flujo de potencia. En cuanto a este último se debe tener en cuenta el diseño de un sistema que sea capaz de adquirir la información operativa de los componentes del sistema eléctrico, los comunique y tome decisiones inteligentes para abastecer la demanda.

La herramienta informática LabVIEW® junto con plataformas de hardware como Arduino® son tecnologías que permiten implementar sistemas para la monitorización y control de flujos de potencia. Por ello como objetivo del trabajo se propone un prototipo de micro red en baja tensión y se plantea un algoritmo para su administración. Se programa el algoritmo en LabVIEW® como panel principal y en Arduino como fuente de captura de datos y se evalúa su funcionamiento con diferentes escenarios de prueba. Como resultados, se cuenta con las tecnologías necesarias que permitirán la implementación de una micro red a tensión industrial, en la cual se administrará el despacho de la energía de red conjuntamente con la proveniente de fuentes renovables. De esta manera se pretende optimizar el abastecimiento de la energía de modo que responda a las necesidades de la carga, minimizando los tiempos de respuestas y evitando perturbaciones en el sistema o la interrupción del servicio.

Palabras claves - algoritmo; energías renovables; micro red inteligente; sistema de control.

**TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN
INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019
OCTAVO SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA SENE 2019.**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata

INTRODUCCIÓN

El uso racional y eficiente de la energía eléctrica abarca todas las acciones que se realicen en las diversas etapas del sistema eléctrico. El empleo de redes inteligentes para la transmisión y distribución de energía eléctrica es una tecnología adecuada para optimizar dicho sistema (Letcher, 2014).

Una micro red inteligente comprende una porción de la red de distribución, generalmente en baja tensión, la cual contiene: (i) clientes que requieren energía eléctrica, (ii) generadores eléctricos de distintos tipos (solares fotovoltaicos, eólicos, diesel, etc.) y (iii) sistemas de almacenamiento de energía. Ésta facilita la inclusión de la generación distribuida en las redes eléctricas convencionales, pues permite una coordinación exitosa entre los distintos generadores y una eficiente gestión de la energía (Kalkal y Vijay Kumar, 2017)(Katiraei y otros, 2008).

LabVIEW® es un entorno de desarrollo gráfico que permite la construcción de aplicaciones para monitorización en tiempo real, sobre la base de una interfaz de usuario con capacidad de programación gráfica, en tanto que el lenguaje textual de alto nivel está reservado específicamente para el software. Una capacidad fundamental es la gestión automática por software del direccionamiento, almacenamiento, formación de tablas y recuperación de datos, dejando liberado al usuario de esa tediosa tarea por operaciones de bajo nivel. En último término, a pesar de lo complejo que puede parecer el panel frontal del usuario, LabVIEW® genera un código ejecutable de alta eficiencia que brinda alta velocidad a la aplicación (Cheddadi y otros, 2015), (Chow y Mungkornassawakul, 2013).

Como complemento a la programación desarrollada en LabVIEW, y como interface para la adquisición de datos y activación de los actuadores se cuenta con la plataforma de hardware libre Arduino® (Raju y otros, 2017) consistente en una placa basada en un microcontrolador de uso general para la cual se dispone de un entorno de desarrollo que permite una fácil programación de su operación. Su función principal es la de conectarse a través de sensores para interactuar con dispositivos externos.

El objetivo de este trabajo es proponer un prototipo de micro red en baja tensión y un algoritmo para su administración.

De este modo a través de Arduino® se configura una plataforma de acceso a los dispositivos eléctricos y con la herramienta LabVIEW® se implementa el algoritmo como sistema de control.

DESARROLLO

La administración de una micro red se puede realizar mediante tres procedimientos habituales: el sistema de control centralizado, el descentralizado y el híbrido.

El control descentralizado no requiere una comunicación entre las unidades generadoras ya que con el monitoreo de las variables locales es suficiente para la toma de decisiones, el control centralizado, en cambio, requiere una comunicación entre todos los dispositivos, con lo cual el tiempo de respuesta resulta una variable crítica a tener en cuenta, y por último el híbrido que contempla una combinación de los anteriores (Anand y otros, 2013).

**TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN
INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019
OCTAVO SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA SENE 2019.**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata

Es fundamental asegurar la fiabilidad de la micro red, la cual se logra con una adecuada tecnología informática y de comunicaciones. Igualmente importante resulta la estabilidad del sistema de administración, lo cual se asegura mediante las acciones programadas en el algoritmo de control.

Para abordar la tecnología se presenta en la Fig. 1, una topología para la configuración del hardware de administración de la micro red, basada en el concepto de control centralizado donde la comunicación interna resulta un aspecto relevante para la coordinación de las acciones.

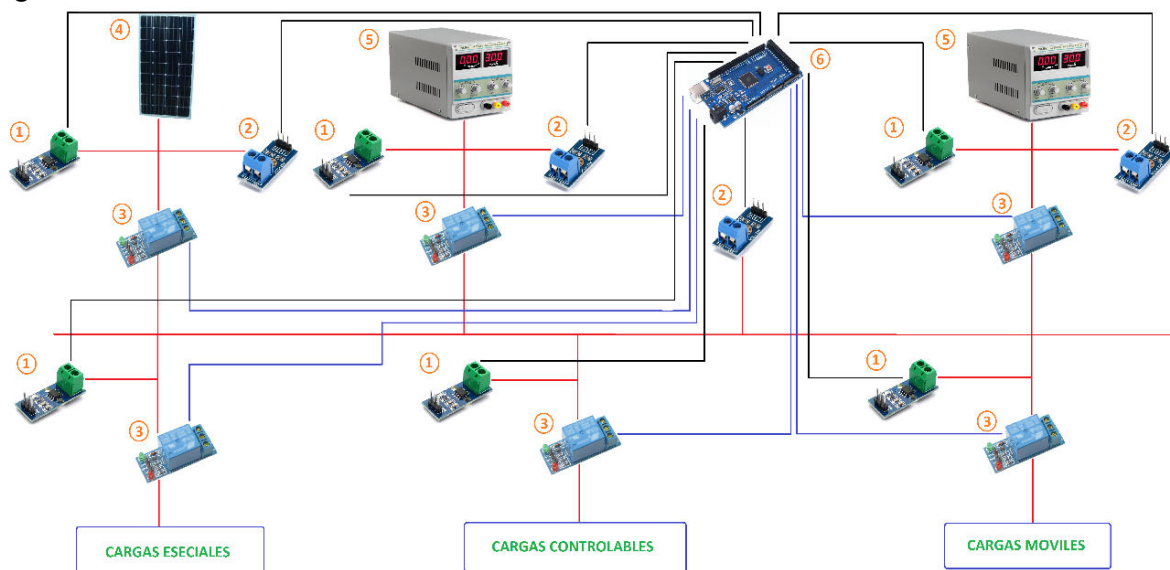


Fig. 1: Configuración de topología del hardware de administración

Referencias de la Fig. 1:

- 1- Módulo Sensor de Tensión.
- 2- Módulo Sensor de Corriente.
- 3- Módulo Relé.
- 4- Paneles Fotovoltaicos.
- 5- Fuente de Alimentación.
- 6- Placa Arduino® Mega.

En la Fig. 1 se observan: (i) líneas color rojo que indican la alimentación de corriente continua del sistema, (ii) líneas color negro que indican las señales analógicas a ser procesadas por la placa Arduino®, estas señales se corresponden con las medidas de tensión y corriente, (iii) líneas color azul que indican las salidas digitales producidas por la placa Arduino®, mediante las cuales se envían las señales correspondientes a los

actuadores del sistema para abrir o cerrar los circuitos en cada caso.

En el diagrama se han considerado como fuentes de ingreso de energía de la generación a partir de paneles fotovoltaicos, el aporte que provee un generador de biomasa (representado por la fuente de alimentación) y el aporte de energía proveniente de la red. El generador de biomasa y el aporte de energía de red se representan por una fuente de alimentación.

Todas estas fuentes aportantes de energía deben ser monitoreadas en tiempo real por el sistema de control para asegurar que los parámetros eléctricos se mantengan dentro de los valores compatibles para permitir el acoplamiento al

TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019

OCTAVO SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA SENE 2019.

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata

circuito principal de distribución. Esta función se realiza a partir de los sensores de voltaje y corriente cuyas magnitudes analógicas son enviadas a las entradas del sistema de control que ejecuta el algoritmo de decisión y produce las acciones necesarias de conexión o desconexión en función de las pautas preasignadas y la demanda de consumo existente.

Dicha tecnología se gestiona con un algoritmo de control de una micro red centralizada que toma decisiones de asignación de energía en función de los datos de generación y consumo (Blaabjerg y otros, 2016). La premisa base del algoritmo es la de administrar la demanda, procurando la reducción del consumo de energía proveniente de la red externa, con la generación obtenida con fuentes renovables, en la red interna.

Como antecedente de este algoritmo se considera el propuesto en el trabajo de (Bordón y otros, 2018), en el cual se han tenido en cuenta tres categorías diferentes de cargas. Las críticas o esenciales que deben ser alimentadas en forma permanente, las cargas controlables, a las que se les puede reducir la energía suministrada en tanto no se produzcan perjuicios a la producción, y las

cargas móviles a las que se puede suministrar energía en diferentes periodos de tiempo a lo largo del día.

Para alimentar las cargas consideradas se requieren: (i) una plataforma Arduino® para la adquisición de datos para monitorizar la información de los tipos diferentes de consumos y generación disponible, y a la vez permita generar las señales de activación para los actuadores que conmuten los mismos, (ii) El sistema de control LabVIEW® que interpreta la información digital y realiza la toma de decisiones de la micro red.

La selección de las tecnologías de generación con renovables se basa en los recursos disponibles localmente. En este caso se corresponden con solar fotovoltaica y biomasa. Para la elaboración del algoritmo se determinan reglas heurísticas con las siguientes prioridades: (i) la energía solar generada se destina a consumo interno o en el caso de excedente se procede a inyectarlo a la red externa (ii) con biomasa se respalda la generación de energía solar, y (iii) en el caso de ser insuficiente ambas para alimentar el abastecimiento interno, se procede al consumo desde la red externa (Fig. 2).

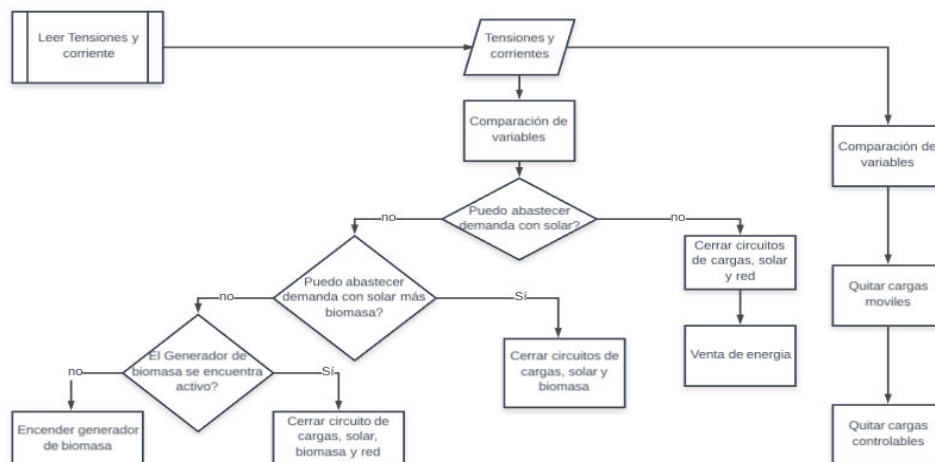


Fig. 2: Algoritmo de Control.

TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019

OCTAVO SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA SENE 2019.

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata

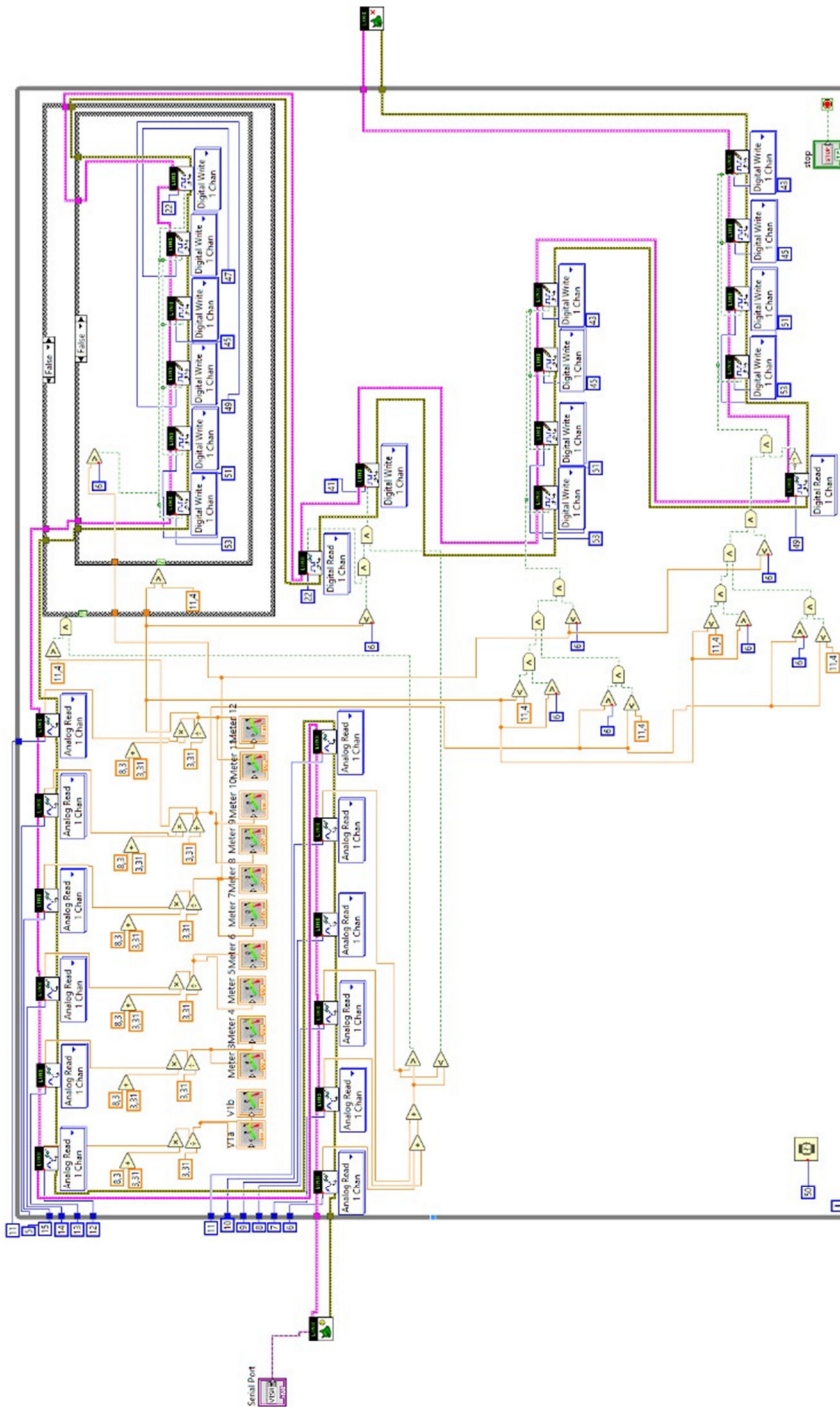


Fig. 3: Diagrama de bloques LabVIEW® del algoritmo

**TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019
OCTAVO SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA SENE 2019.**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata

En la Fig. 3 se presenta el diagrama de bloques LabVIEW® del algoritmo empleado para efectuar el despacho de energía en la micro red. En el mismo se observa que se efectúan las mediciones correspondientes de tensión y corriente de cada uno de los componentes del circuito. Una vez efectuadas las mismas, se procede a la aplicación de los criterios heurísticos para generar el despacho, dependiendo de las condiciones del sistema.

Para realizar las pruebas se utilizó una micro red a escala, en la cual se simulaban distintos valores de demanda y de generación. La programación del algoritmo contempla distintos tipos de generación (biomasa y fotovoltaica), demanda, estado de la red de distribución, tiempo (tramos horarios), frecuencia del sistema, y la posibilidad de inyectar energía eléctrica a la red.

Para una mejor comprensión se describe la ejecución del programa. El mismo comienza con la herramienta LabVIEW® a través de la lectura de las variables tensión y corriente.

Con el sistema en funcionamiento y con cualquier estado de generación y carga posible, se realiza la sumatoria de la corriente de los 3 tipos de cargas (esenciales: I_{c1} , móviles: I_{c2} y controlables: I_{c3}), así como también la corriente que circula aguas abajo del generador solar (I_{gs}). Comparando la sumatoria de las cargas con I_{gs} , interesa saber si ésta es igual o mayor que la sumatoria antes mencionada (1), y si el valor de tensión no es menor que un 95% del nominal. En el caso de ser así, los interruptores de las 3 cargas, el inversor y también de la red (no generador biomasa), permanecerán cerrados o se cerrarán según corresponda.

En el caso que (1) no se verifique, es decir que la sumatoria de las cargas: I_c sea mayor que I_{gs} , entonces verificar que la tensión en bornes del generador de biomasa sea superior a un 95% (2). Si esto ocurre, se cerrarán o permanecerán cerrados los interruptores de las 3 cargas, el inversor y también del generador de biomasa (No el de la red).

En el caso que (1) no se verifique, pero tampoco verifique (2), y asegurándose que haya tensión en la red, los interruptores de las 3 cargas, el inversor y también de la red (No generador biomasa), permanecerán cerrados o se cerrarán.

Si las condiciones de (2) no se verifican, se envía una señal para que equipo generador de biomasa comience a funcionar.

En el caso de que la tensión en la barra de alimentación principal del circuito, decaiga por debajo de un 95% de la tensión nominal, se procederá a lo siguiente.

Si no se detecta tensión de la red, pero si del generador solar o el equipo de biomasa, entonces se desconectan las cargas móviles.

Si a pesar de la desvinculación de las cargas móviles en el sistema, la tensión permanece por debajo de los niveles indicados, se desconectarán las cargas controlables.

En cuanto a la interconexión de la placa Arduino® con el programa LabVIEW®, se utilizan herramientas preexistentes que brinda el mismo programa. En dicho proceso se graba un código base en la placa Arduino® (<https://www.arduino.cc/>) el cual servirá para la interpretación y el traspaso de datos de un componente a otro.

**TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019
OCTAVO SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA SENE 2019.**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata

Una de las herramientas es NI-VISA, la cual proporciona la interfaz de programación entre el hardware y los entornos de desarrollo de aplicaciones. La otra aplicación utilizada es LINX, un proyecto de fuente abierta de Digilent y está diseñado para facilitar el desarrollo de aplicaciones embebidas usando LabVIEW®. LINX incluye VIs para más de 30 de los sensores embebidos más comunes, así como APIs de hardware para tener acceso a periféricos como E/S digitales, E/S analógicas, PWM, I2C, SPI y UART.

Mediante la comunicación ya establecida de la placa Arduino® con LabVIEW®, se puede realizar el diagrama de bloques del algoritmo de control, siguiendo los criterios de despacho de energía y las reglas de prioridades establecidos anteriormente.

En el panel frontal del VI se pueden observar las variables medidas, las cuales son procesadas por el programa para ejecutar las acciones correspondientes según los criterios adoptados.

La placa utilizada es una Arduino® Mega 2560, esta posee 54 pines digitales que funcionan como entrada/salida de las cuales 15 se pueden utilizar como salida PWM (modulación por ancho de pulso); 16 entradas análogas, un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un botón de reset y una entrada para la alimentación de la placa. Está basada en el microcontrolador ATmega2560.

Los Sensores utilizados para realizar las mediciones de corriente son sensores de corriente ACS712 de efecto Hall. El cual proporciona una medición de corriente para señales tanto de AC como DC. El ACS712 entrega una señal de salida de voltaje analógico

que varía linealmente con la corriente detectada.

Para el caso de las mediciones de tensión, se utilizó un circuito divisor de tensión, conformado por resistencias de precisión. Mediante el mismo se pudo acondicionar las señales en un rango de 0 a 5 Volts, para que puedan ser leídas por la placa.

Los actuadores utilizados para el funcionamiento del sistema son Módulos Relé de 5V optoacoplados con bomera de accionamiento, el cual permite la apertura o cierre de los circuitos en un nivel de tensión de 12 volts nominal, controlado con una salida digital de 0 a 5 volts directamente desde la placa Arduino®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La configuración descrita puede ser optimizada con la incorporación de otras fuentes alternativas como las eólicas, hidráulicas y la incorporación de bancos de baterías que pueden almacenar cierta cantidad de energía durante los períodos de baja demanda y posibilitan disponer de ella en los momentos de corte de suministro de la red externa para abastecer las demandas esenciales.

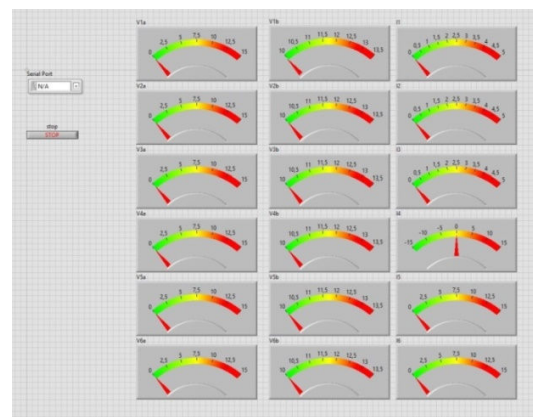


Fig. 4: Ventana de Control

**TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019
OCTAVO SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA SENE 2019.**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata

En la Fig. 4 se muestran los instrumentos virtuales implementados en LabVIEW® para monitorizar los valores de tensión y corriente en tiempo real. Por cada uno de los componentes del sistema, se observan 2 voltímetros (uno a fondo de escala y otro de medición fina en un rango de 10 a 13.5 Volts) y un amperímetro.

Para comprobar el desempeño del algoritmo, en primera instancia, se pudo establecer una comunicación entre la herramienta LabVIEW® y la placa de monitorización Arduino®. En el modelo se utilizaron fuentes de corriente continua para simular los generadores de energía renovable y la demanda con resistencias. Para sensar corriente se utilizaron dispositivos de efecto hall, y las tensiones se tomaron por contacto galvánico.

Se simularon todos los eventos descritos anteriormente como estrategia de prueba del algoritmo y de la comunicación entre LabVIEW® y Arduino®.

CONCLUSIONES

Se propone un sistema de control para micro redes que favorece la integración de las fuentes de generación, que procura el ahorro de energía, reduce costos e incrementa la seguridad de los sistemas de distribución.

En el futuro se pretende evaluar y determinar la mejor forma de establecer las comunicaciones entre los dispositivos que conforman el sistema de la micro red, se evaluará la comunicación mediante una red Ethernet, gsm, radio frecuencia o PLC (Power Line Communications).

REFERENCIAS

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*, vol. 28, n° 4, 2003, pp. 1900-1913, doi: 10.1109/TPEL.2012.2215055

Blaabjerg, F. Teodorescu, R. Liserre, M. Timbus, A.V. (2006). Overview of Control and Grid Synchronization for Distributed Power Generation Systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 53, n° 5, pp 1398 – 1409, doi: 10.1109/TIE.2006.881997

Bordón, C. Schenberger, L. Berterame, F. Chezzi, C. Penco; J. (2018). Estrategia para la Gestión de una Micro Red. *IEEE 9TH Power, Instrumentation and Measurement Meeting (EPIM)*, pp 1-6.

Cheddadi, Y. Gaga, A. Errahimi, F. Es Sbai, N. (2015). Design of an energy management system for an autonomous hybrid micro-grid based on Labview IDE. *3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, pp. 1-6, doi: 10.1109/IRSEC.2015.7454965

Chow, Ch.-I. Mungkornassawakul, J. (2013). A Smart Recording Power Analyzer Prototype Using LabVIEW and Low-Cost Data Acquisition (DAQ) in Being a Smart Renewable Monitoring System. *IEEE Green Technologies Conference (GreenTech)*, pp 49-56, doi : 10.1109/GreenTech.2013.16

Kalkal, P. Vijay Kumar G. (2017). Transition from Convencional to Modern Grids. Mother Grid include Microgrid and Smartgrid. *4° IEEE International Conference on Signal*

**TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019
OCTAVO SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA SENE 2019.**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata

Processing, Computing and Control, pp. 223-228.

Katiraei, F. Iravani, R. Hatziargyriou, N. Dimeas, A. (2008). Microgrids management: Controls and operation aspects of microgrids, IEEE Power and Energy Magazine, vol. 6, n°. 3, pp. 54-65, doi: 10.1109/MPE.2008.918702

Letcher, T. (2014). *Future Energy: Improved Sustainable and Clean Options for our Planet*. Durban, South Africa. ELSEVIER. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-099424-6.00032-6>

Raju, L. Muthukumar, P. Gokulakrishnan, S. (2017). Autonomous Demand Side Management of a Micro-Grid using Arduino and Multi Agent System. *Second International Conference on Recent Trends and Challenges in Computational Models*, pp 159-164, doi: 10.1109/ICRTCCM.2017.47