



Avances en el desarrollo de un sistema de supervisión de una microrred utilizada para el bombeo de agua en huertas comunitarias rurales

Alejandro G. Maxit ^{a,*}, Guillermo A. Fernández ^{b,c}, Fernando Botterón ^{b,c}

^a *Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ingeniería, Oberá, Misiones, Argentina.*

^b *Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ingeniería, Instituto de Materiales de Misiones (IMAM), Misiones, Argentina.*

^c *GIDE, Juan Manuel de Rosas 325, Oberá, Misiones, Argentina.*

alejandro.maxit@gmail.com; fernandez@fio.unam.edu.ar; botteron@fio.unam.edu.ar

Resumen

Este trabajo presenta los avances obtenidos en el desarrollo de un sistema de supervisión encargado de gestionar el suministro de energía y el uso de las cargas en una microrred eléctrica, constituida por un sistema de bombeo de agua y otros consumos, siendo estos abastecidos de energía mediante paneles fotovoltaicos, la red eléctrica y baterías. El sistema de supervisión posee una unidad terminal remota y una unidad terminal maestra que intercambian datos mediante un bus de comunicación. La primera unidad ejecuta el algoritmo de supervisión que gestiona el uso de las fuentes de energía y de las cargas en la microrred, mientras que la segunda posee una aplicación SCADA que monitorea y registra la evolución de las variables de esta instalación. El presente trabajo muestra el desarrollo del algoritmo y de la aplicación mencionados, los cuales están implementados con softwares de simulación diferentes que se comunican entre sí mediante un servidor OPC. Para validar la operación de esta propuesta, la microrred es simulada sometiéndola a determinado perfil de carga diario. Los resultados obtenidos comprueban la correcta operación del algoritmo, dado que demuestran que la microrred funciona en los distintos estados de operación planteados y el sistema de bombeo de agua recibe el suministro de energía mayormente de los paneles fotovoltaicos, ya sea directamente o con energía almacenada. Por otra parte, la aplicación funciona adecuadamente permitiendo observar el comportamiento temporal de las variables medidas en la microrred, como así también los estados de operación de la misma.

***Palabras Clave** – Supervisión, bombeo de agua, energías renovables, huertas comunitarias, solar, fotovoltaica.*

1. Introducción

El riego es una tarea de vital importancia para el mantenimiento permanente de las huertas comunitarias [1]. El agua utilizada en esta tarea puede ser obtenida a través de electrobombas o bien, cuando se carece de energía eléctrica, mediante motobombas a combustión. En ambos casos, el riego de las huertas comunitarias rurales está supeditado a la disponibilidad de la fuente de energía requerida en la provisión de agua. El uso de las electrobombas está afectado por los sucesivos y prolongados cortes que presenta el suministro eléctrico rural, dado esto muchas veces por las inclemencias del tiempo y las condiciones desfavorables de acceso que existen en nuestra región.

Mientras que, en el caso de las motobombas, el combustible utilizado normalmente no está disponible y hay que trasladarse hasta la estación de servicio para obtenerlo, que en nuestras zonas rurales no siempre están próximas a los cultivos.

Para tratar de solucionar los inconvenientes indicados, cada vez más son utilizados los sistemas de riego que emplean energías renovables en el abastecimiento de la energía eléctrica requerida. Para este tipo de aplicaciones, la energía solar fotovoltaica se emplea con mayor frecuencia debido a ventajas tales como la modularidad, la facilidad en el transporte y la simplicidad en la instalación de los paneles fotovoltaicos utilizados. Siendo esto favorecido por la reducción constante en el costo de los paneles y la producción de energía eléctrica en forma limpia.

Atendiendo a lo mencionado, el proyecto de investigación del cual surge este trabajo, propone el uso de una microrred eléctrica donde el sistema de bombeo para riego y otros consumos son alimentados por paneles fotovoltaicos, la red eléctrica y baterías, según la disponibilidad de estas fuentes. Para el bombeo de agua se propone el uso de una bomba centrífuga monofásica de corriente alterna, debido a que son fáciles de conseguir en el mercado local y también son de costos reducidos en comparación con las bombas fotovoltaicas existentes [2]. La Fig. 1 muestra un esquema de la microrred mencionada.

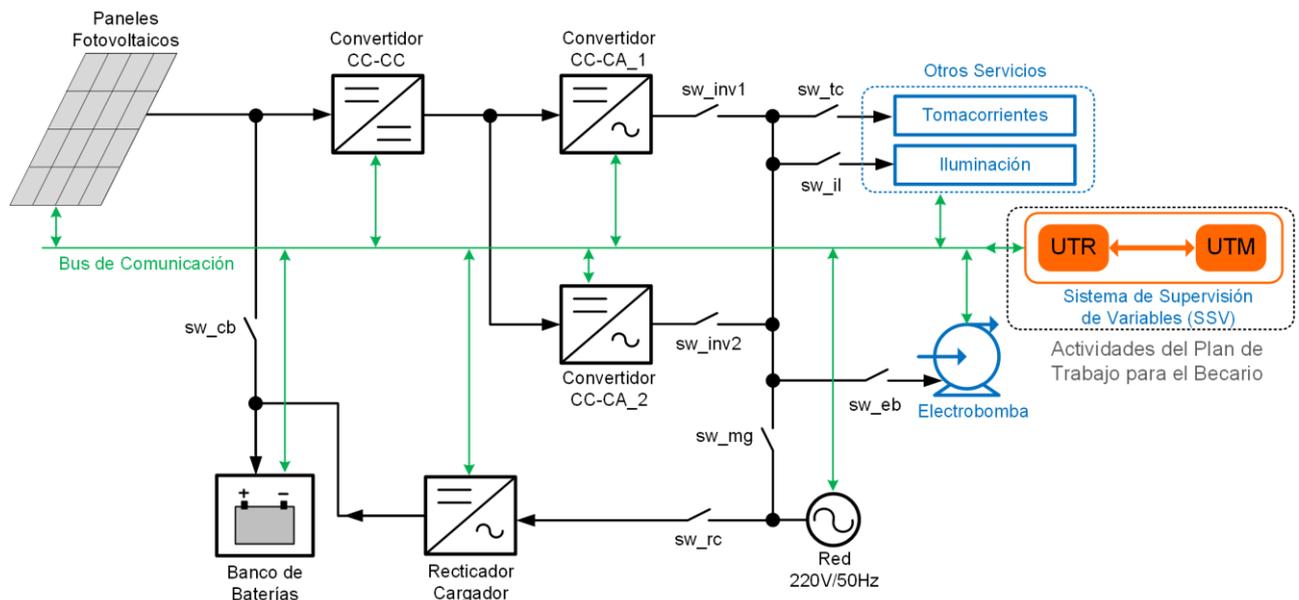


Fig. 1. Microrred y Sistema de Supervisión de Variables.

El Sistema de Supervisión de Variables (SSV) mostrado en la Fig. 1, es un sistema electrónico que mide las variables importantes de la microrred, toma decisiones y actúa sobre las llaves indicadas en dicha figura. Estas variables pueden ser el estado de carga de las baterías, la corriente y tensión de salida en los convertidores, en la electrobomba, entre otros. Como se observa en la Fig. 1, el SSV está constituido por una Unidad Terminal Maestra (UTM) y una Unidad Terminal Remota (UTR). La UTM consiste en una computadora que ejecuta un algoritmo de monitoreo y registro de datos, el cual es implementado a través de una aplicación SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) [3].

La UTR es un dispositivo electrónico programable (por ejemplo: PLC, microcontrolador, etc.) [4] que ejecuta el algoritmo de supervisión a partir de los valores que toman las variables medidas. Estas dos unidades utilizan un bus de comunicación y mediante un protocolo de uso industrial pueden intercambiar información. De esta forma, si la UTM envía comandos y peticiones de datos a la UTR, esta última actúa sobre los elementos de la microrred cumpliendo con las acciones solicitadas [5]. Cabe mencionar que la UTR puede ejecutar el algoritmo de supervisión de la microrred en forma independiente de la UTM.

A partir de lo mencionado, este trabajo presenta los resultados de las actividades desarrolladas en el marco del proyecto de investigación "Bombeo de agua con energías renovables, almacenamiento de energía y conexión a la red para pequeñas huertas rurales comunitarias: Estudio, diseño y puesta en funcionamiento (16/I1083-PDTS)". El trabajo muestra el desarrollo de un algoritmo de supervisión de la microrred aplicada a un sistema de bombeo de agua que utiliza como fuentes de energía a paneles fotovoltaicos, la red de energía eléctrica y un banco de baterías. El algoritmo realizado gestiona el uso de las cargas (electrobomba, tomacorrientes e iluminación) y de las fuentes de energía, en función del estado de carga de las baterías (*state of charge*, SOC), dando prioridad al uso de la energía eléctrica obtenida a partir de la fuente renovable utilizada. Por otra parte, el trabajo también muestra el desarrollo de la aplicación SCADA destinada al monitoreo y registro de las variables de la microrred.

En su organización, este trabajo inicialmente presenta la implementación del sistema de supervisión, explicando el funcionamiento del algoritmo de supervisión que ejecutará la UTR y también la aplicación SCADA desarrollada para la UTM. Luego, aparecen los resultados obtenidos en la simulación de la UTR operando en conjunto con la UTM, donde se comprueba tanto el funcionamiento del algoritmo como la operación de aplicación mencionada. Finalmente, quedan expuestas las conclusiones del trabajo.

2. Implementación del sistema de supervisión

Para la implementación del algoritmo de supervisión que ejecuta la UTR, se utilizan distintas herramientas que posee el entorno de programación visual Simulink, incluido en el software Matlab. En tanto para el diseño de la aplicación SCADA correspondiente a la UTM, es utilizado el software Wonderware InduSoft Web Studio [6], que trae incorporado un servidor con protocolo de comunicación abierto (*open protocol communication*, OPC) denominado Studio Scada OPC [7], el cual hace posible la comunicación de datos entre los programas mencionados. A continuación, están presentadas las características de diseño y operación consideradas en el desarrollo de lo antes mencionado.

2.1. Algoritmo de la unidad terminal remota (UTR)

En el esquema representado en la Fig. 1, la UTR tiene las funciones de medir y actuar sobre la operación de los elementos que componen la microrred, como así también puede responder a las peticiones y comandos enviados por la UTM. El algoritmo de supervisión es el que realiza todas estas funciones. En este trabajo, el algoritmo de supervisión propuesto estima periódicamente el SOC de las baterías y actúa adecuadamente sobre las llaves de la Fig. 1, gestionando el uso de las fuentes de

energía y las cargas que posee la microrred. Todo esto con el objetivo de suministrar energía a la electrobomba (cuando esta lo requiera), a partir de lo generado por los paneles fotovoltaicos.

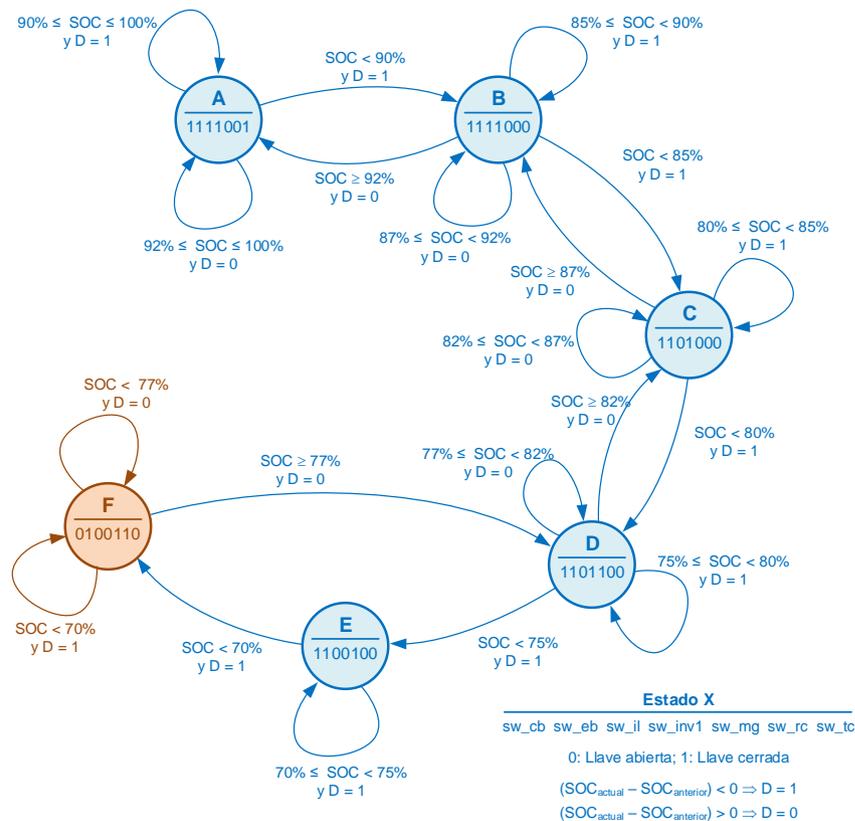


Fig. 2. Diagrama de transición de estados (DTE) del algoritmo de supervisión de la UTR.

La lógica de operación del algoritmo de supervisión, queda definida por el diagrama de transición de estados (DTE) de la Fig. 2. Cada burbuja del DTE representa el estado de las llaves indicadas en la Fig. 1 y constituye un estado de operación de los elementos de la microrred. A modo de ejemplo, tomamos los estados “A” y “B” para su explicación:

- **Estado A:** Las baterías poseen el SOC más elevado, por lo cual las llaves sw_cb , sw_eb , sw_il , sw_inv1 y sw_tc (ver Fig. 1) están cerradas, de forma tal que todas las cargas puedan ser energizadas, tanto por los paneles fotovoltaicos como por el banco de baterías en caso de que la energía solar no sea suficiente. En este estado también se permite la carga de las baterías, cuando el consumo de las cargas es bajo. Si las baterías se descargan debido a que la radiación solar es insuficiente, cuando el $SOC < 90\%$, el algoritmo de supervisión abre la llave sw_tc , pasando la microrred al estado B.
- **Estado B:** Debido a la reducción en el SOC de las baterías, en este estado, tanto paneles fotovoltaicos como batería pueden energizar sólo a la electrobomba y el circuito de iluminación, quedando los tomacorrientes son desconectados del suministro de energía. Al igual que en el estado anterior, también se permite la carga de las baterías mediante los paneles

fotovoltaicos. De esta forma, si el $SOC \geq 92\%$ el algoritmo de supervisión retorna al estado A, restableciendo el uso de los tomacorrientes. Si la radiación solar es insuficiente y las baterías continúan descargándose, cuando el $SOC < 85\%$ el algoritmo abre llave sw_il , pasando la microrred al estado C.

El algoritmo de supervisión es ejecutado cada cierto tiempo en la UTR (cada 10 s aprox.). En primer lugar, calcula el SOC de las baterías y en base a los valores actual y anterior que toma esta variable, define el estado de la variable interna “D” para indicar si las baterías están en un proceso de carga o de descarga. De esta forma, a través del SOC calculado y del estado de la variable D, el algoritmo toma las decisiones necesarias sobre el estado de las llaves que posee la microrred, pasando de un estado a otro del DTE y actualizando el estado de las llaves correspondientes. Cabe mencionar que el DTE de la Fig. 2 no tiene en cuenta la llave “sw_inv2”, ya que su estado sólo depende de la potencia suministrada por el inversor 1, de manera tal que el inversor 2 entra en funcionamiento aportando energía cuando en el inversor 1 se supera cierto estado de carga. Cabe aclarar, que esto es así debido a que el algoritmo de supervisión no incorpora la detección de fallas en los convertidores que posee la microrred, quedando esto para un trabajo futuro.

El cálculo del estado de carga de las baterías es realizado utilizando el método del contador de coulomb, donde se integra la intensidad de la corriente suministrada y absorbida por las baterías. Este método, fácil de implementar en el algoritmo, es preciso y una de las maneras más prácticas de estimar el estado de carga en baterías de plomo-ácido selladas, como las utilizadas en este tipo de aplicaciones. Si bien el método consiste en realizar un balance energético, presenta algunos inconvenientes tales como: la necesidad de conocer el estado de carga inicial de las baterías, el incremento del error de cálculo con el tiempo debido al envejecimiento y los errores de lectura o precisión en el sensor de corriente. La ecuación (1) permite hallar el estado de carga de las baterías utilizando el método indicado [8].

$$SOC(t) = SOC_0 - \frac{\eta}{C} \int_{t_0}^t I(t).dt \quad (1)$$

siendo $SOC(t)$ el estado de carga de las baterías en función del tiempo, SOC_0 el estado de carga inicial, C la capacidad nominal, η el rendimiento, $I(t)$ la corriente de la batería y t_0 el tiempo inicial.

Para aplicar el método indicado, en el algoritmo de supervisión el estado de carga de las baterías es estimado a través de la siguiente ecuación recursiva, obtenida a partir de la ecuación (1) considerando rendimiento ideal ($\eta = 1$) [9].

$$SOC_n(\%) = SOC_{n-1}(\%) - \frac{I_{n-1} \cdot \Delta t}{C} \cdot 100\% \quad (2)$$

Para comprobar los resultados del estado de carga obtenidos con la ecuación (2), usando la simulación se comparan estos resultados con los proporcionados por el modelo de la batería que provee Simulink y también con los obtenidos mediante la operación de integración discreta realizada

con los bloques de este simulador. Los resultados de la simulación mencionada están indicados en la Fig. 3, donde puede verificarse que el *SOC* calculado con el algoritmo de supervisión (*soc_calc*), utilizando la ecuación (2), produce valores que son próximos, pero levemente superiores a los proporcionados por el modelo de la batería (*soc_model*) y al obtenido mediante la integral discreta (*soc_block*). Por lo cual, es factible el uso de la ecuación (2) para estimar el estado de carga de las baterías en el algoritmo de supervisión.

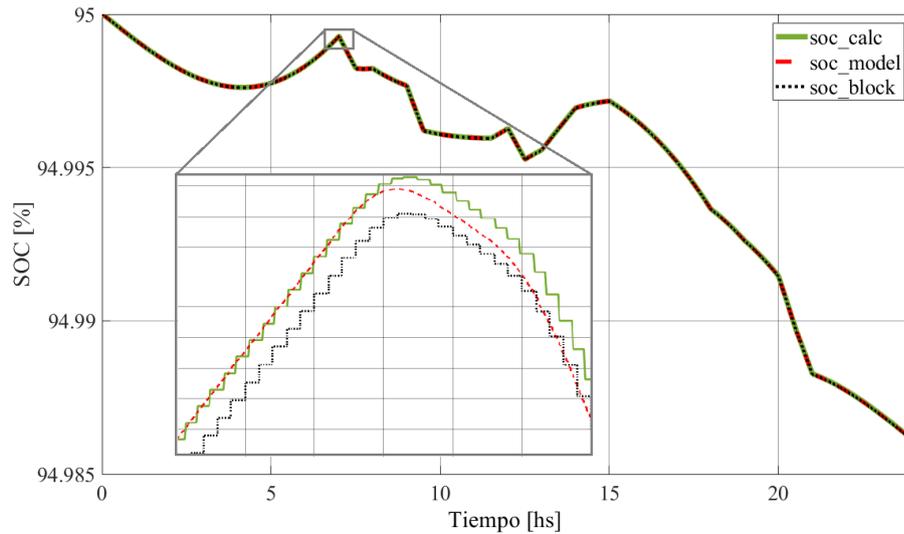


Fig. 3. Comprobación del cálculo del SOC realizado en el algoritmo de supervisión.

La Fig. 4 muestra el esquema de los bloques utilizados en Simulink para simular la operación de la microrred con el algoritmo de supervisión desarrollado.

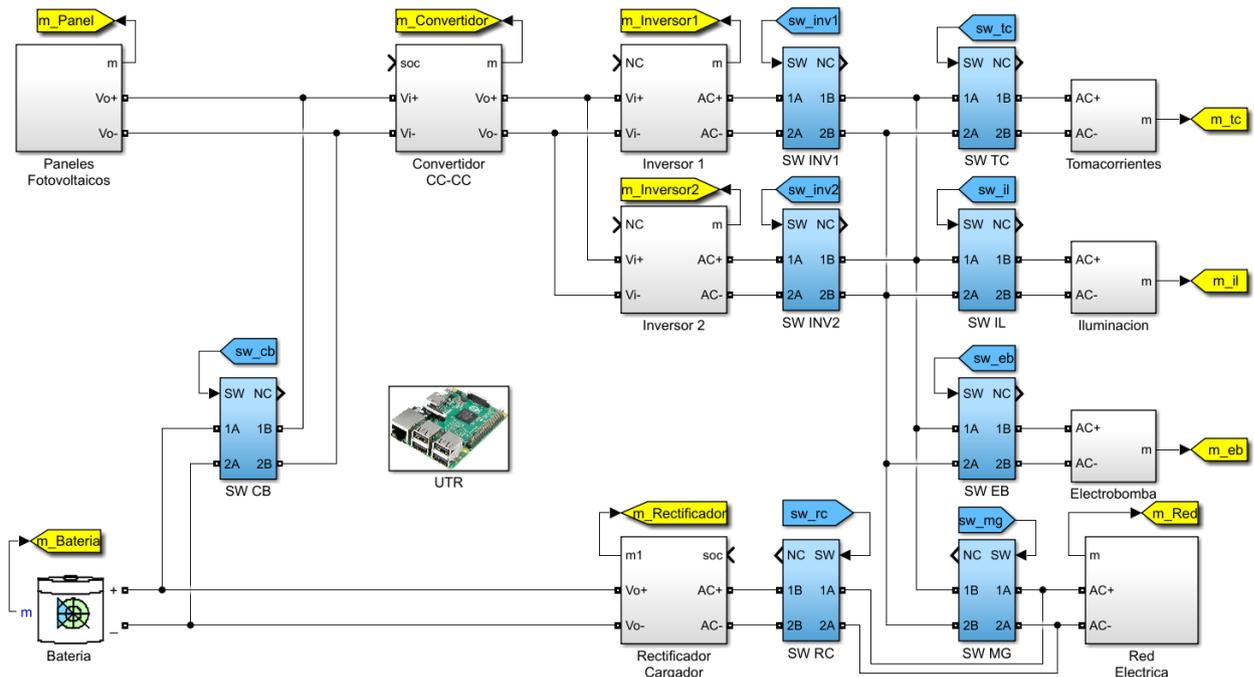


Fig. 3. Bloques representativos de la microrred en la simulación.

En la Fig. 4, el bloque “*Paneles Fotovoltaicos*” corresponde al modelo genérico de un arreglo de paneles fotovoltaicos, el cual es configurado para simular un conjunto de seis paneles comerciales del tipo EGING PV 285W, adquiridos para el proyecto de investigación mencionado. Este modelo también permite agregar la radiación solar y la temperatura como funciones del tiempo. El bloque “*batería*” también es un modelo genérico y es configurado con los parámetros de cuatro baterías RITAR DC12-225 en serie, para así obtener 48 V (nominal) en la tensión del bus de corriente continua que permite energizar a las cargas mediante el convertidor CC-CC y los inversores. El bloque “*Convertidor CC-CC*” eleva la tensión del bus de CC y mantiene en su salida una tensión continua constante de 450V; la corriente de entrada consumida por este bloque depende de la corriente de salida de los inversores, afectada por un factor de rendimiento. Los bloques “*Inversor 1*” e “*Inversor 2*” constituyen fuentes de tensión de corriente alterna, similar a la red eléctrica, pero con una corriente de entrada dependiente de la corriente consumida por las cargas afectada por un factor de rendimiento en ambos inversores. Los bloques “*Tomacorrientes*”, “*Iluminación*” y “*Electrobomba*” representan a las cargas de la microrred y son modeladas mediante resistencias cuyo valor atiende a un perfil de consumo diario típico. El bloque “*Red Eléctrica*” consiste en una fuente de tensión senoidal ideal, similar a los inversores. El bloque “*Rectificador Cargador*” permite simular un cargador de batería con corriente y tensión de salida limitada. Finalmente, el bloque “*UTR*” que representa a la unidad terminal remota contiene el algoritmo de supervisión implementado en lenguaje C mediante la herramienta Simulink Coder [10].

En la Fig. 5 pueden observarse los parámetros de entrada y salida del bloque UTR, junto a las etiquetas de las variables medidas en los bloques de la Fig. 4 (en amarillo) y las variables que son enviadas al servidor OPC (en verde) para su lectura y registro con la aplicación SCADA de la UTM.

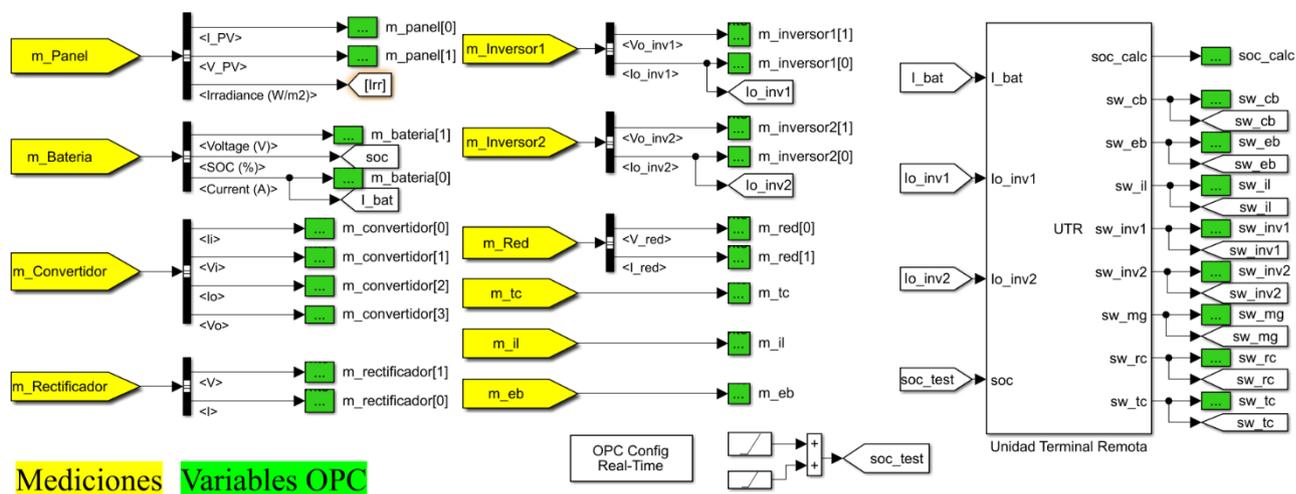


Fig. 4. Interior del bloque UTR con variables medidas y comunicadas a través de OPC.

El algoritmo programado dentro de la UTR se ejecuta periódicamente (cada 10 s aprox.) estimando el SOC de las baterías mediante el cálculo con la ecuación (2), para ello tiene en cuenta el estado de carga guardado en el periodo anterior y la corriente de entrada o salida de las baterías. Seguidamente actualiza el estado de las llaves dependiendo del SOC calculado anteriormente y

también decide si debe intervenir o no el segundo inversor, esto en base a la corriente de salida del primer inversor.

2.2. Aplicación SCADA de la unidad terminal maestra (UTM)

Las funciones de la UTM son permitir la visualización y registro de las variables medidas en la microrred y también actuar sobre sus elementos, enviando los comandos correspondientes a voluntad del usuario. Para este caso, la aplicación SCADA desarrollada muestra en la pantalla de una PC el estado de los interruptores de la microrred y las variables medidas en gráficos en tiempo real. La aplicación SCADA se ha realizado para ser intuitiva y de fácil interpretación.

En la simulación, la aplicación interactúa con la UTR mediante la lectura de variables en el servidor OPC, realiza operaciones de cálculo (por ejemplo, de potencia de los bloques de la UTR) y tareas visuales. También presenta indicadores y gráficos del estado de las llaves y el estado de carga de las baterías. Cabe aclarar que, en el campo de la aplicación práctica, el funcionamiento de la UTR en la microrred no se ve afectado por la UTM, por lo que se puede prescindir de esta última en caso de falla en la computadora donde se ejecuta la aplicación SCADA.

En la Fig. 6 puede observarse la pantalla principal de la aplicación, la cual permite visualizar gráficamente las condiciones actuales de operación de los elementos de la microrred y además el estado de las llaves. Con los botones del menú lateral, el usuario puede dirigirse a la pantalla de “Monitoreo de variables” y “Gráficos de potencia” que son mostradas en las Fig. 7 y 8 respectivamente.

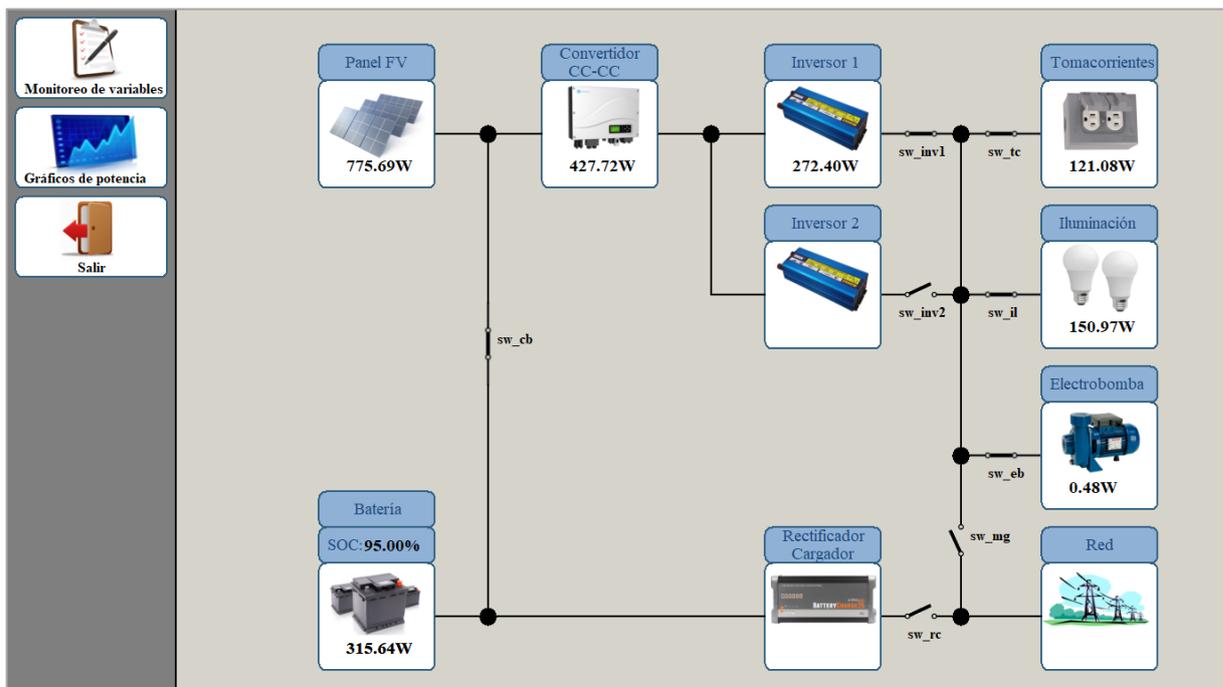


Fig. 5. Pantalla principal “Estado de la microrred” de la aplicación SCADA.

La Fig. 7 muestra la pantalla de la aplicación que permite al usuario observar el valor de cada variable medida en la microrred simulada, como así también muestra los valores de potencia calculada

en la aplicación. Estos valores son los obtenidos a partir de las variables medidas. La pantalla de la Fig. 7 también indica el estado de carga del banco de baterías y si las mismas están en proceso de carga o de descarga, esto último lo determina en base al sentido de circulación de la corriente en la batería.

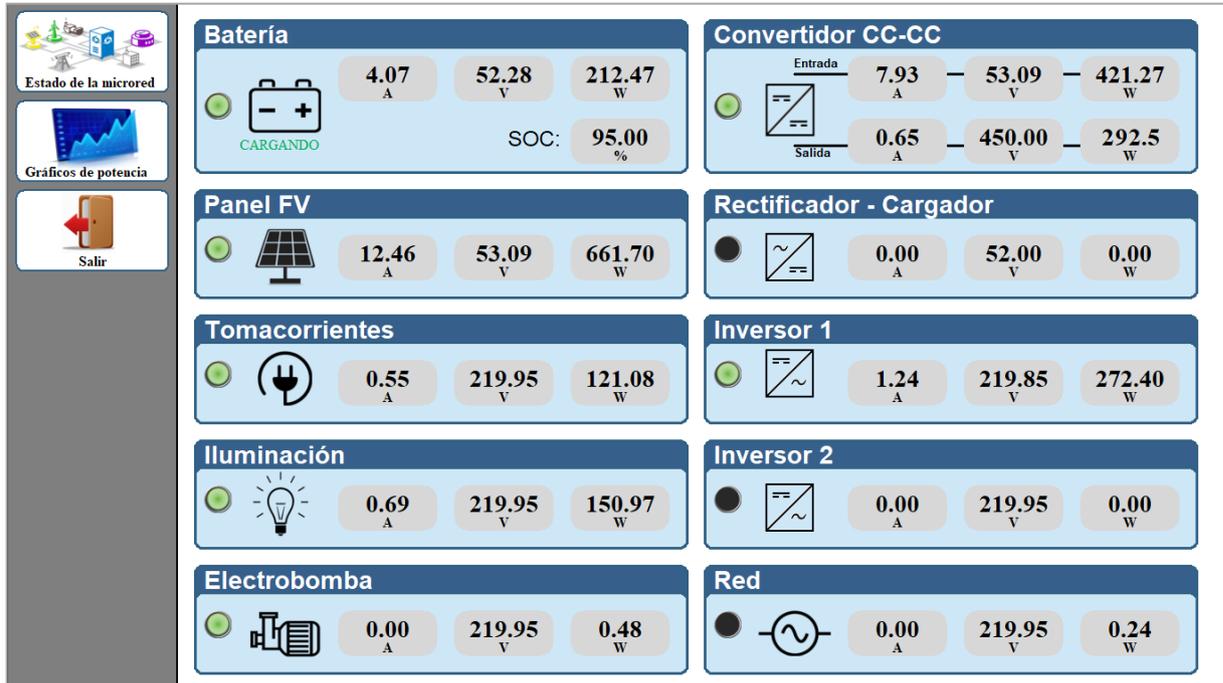


Fig. 6. Pantalla “Monitoreo de variables” de la aplicación SCADA.

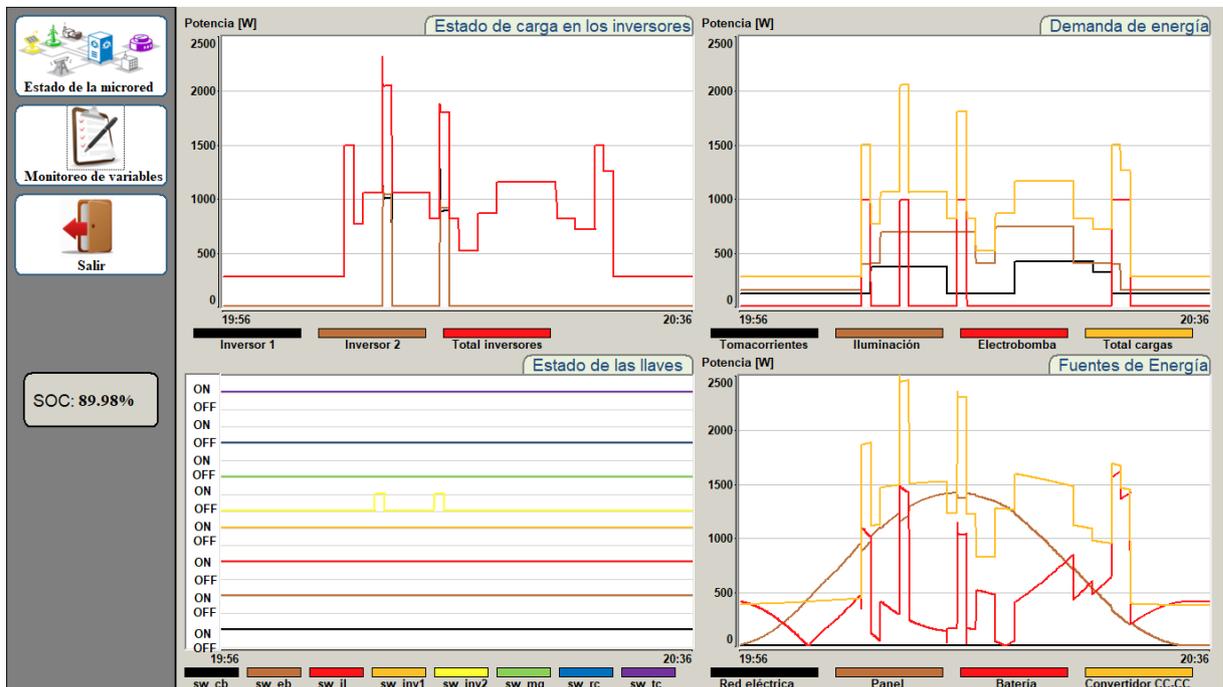


Fig. 7. Pantalla “Gráficos de potencia” de la aplicación SCADA.

En la Fig. 8 se observa la pantalla en la cual están agrupados los gráficos de los flujos de potencia. Los mismos permiten observar la evolución y el aporte de las fuentes de energía, la potencia suministrada por los inversores, la demanda requerida y el estado de las llaves en un lapso de tiempo.

3. Resultados

El funcionamiento del algoritmo de supervisión propuesto en este trabajo, el cual será ejecutado por la UTR del sistema de supervisión, es comprobado mediante simulación. La operación de las llaves que posee la microrred indicada en la Fig. 1 es verificada realizándose una variación forzosa del SOC de las baterías. Para esto no se considera el modelo de las baterías, a modo de salvar la imposibilidad de descarga rápida y así obtener un “supuesto” ciclo de carga-descarga a lo largo de 24hs. Esto es implementado en el bloque UTR de la Fig. 5, reemplazando el cálculo del SOC que realiza el algoritmo por una rampa descendente-ascendente asociada a la variable “soc_test” indicada en dicha figura. La Fig. 9 (a) muestra la variación forzada del SOC, la cual obliga al algoritmo de supervisión de la UTR a pasar por todos los estados mostrados en la Fig. 2, incluso superando una profundidad de descarga del 30% (SOC < 70 %), escenario posible únicamente debido al incremento en la corriente de autodescarga que sufren las baterías usadas en este tipo de aplicaciones al término de la vida útil. La Fig. 9 (b) muestra la conmutación de las llaves de la microrred (0: llave abierta; 1: llave cerrada), producida por el algoritmo de supervisión desarrollado como respuesta a la variación mencionada del SOC. Con esto puede comprobarse la lógica mostrada en el DTE de la Fig. 2, pasando del estado “A” al estado “F” en un lapso de 12hs mediante un SOC ficticio decreciente ($D = 1$). Luego, en el camino inverso con un SOC creciente ($D = 0$), se observa el salto del estado “E” y la conmutación de las llaves en valores distintos del SOC para los cuales fueron accionados. Esto último con el fin de generar una ventana de histéresis evitando la conmutación rápida de las llaves en las condiciones de frontera de los distintos estados.

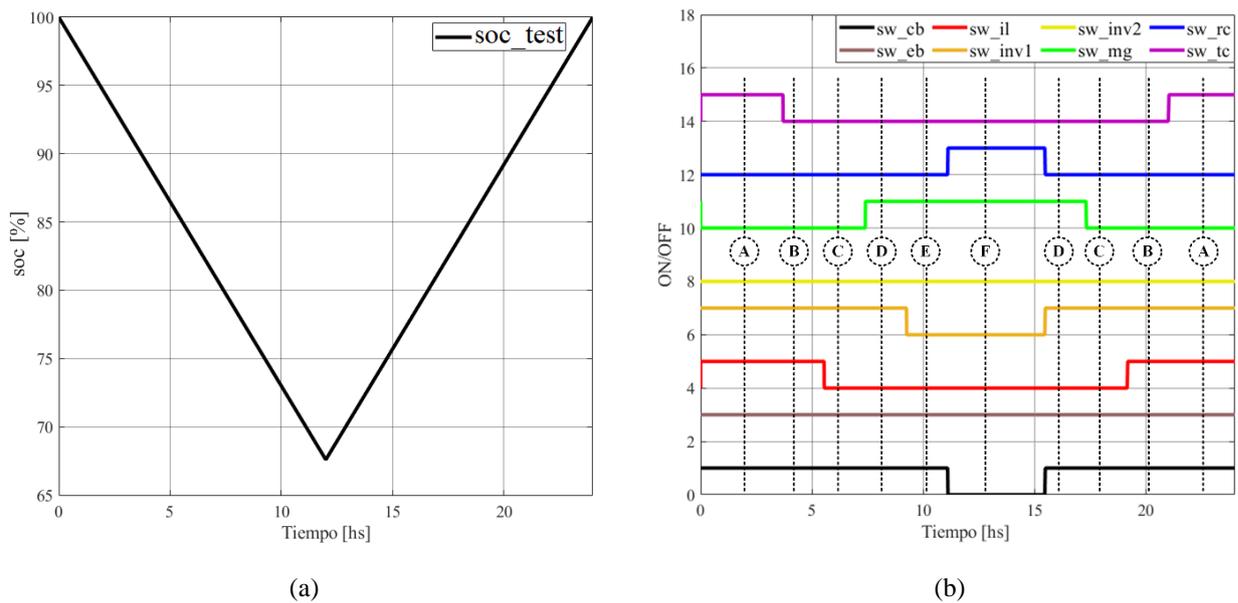


Fig. 8. Comprobación del algoritmo de supervisión: (a) Variación del SOC de las baterías; (b) Respuestas de las llaves.

La Tabla 1 muestra el consumo de las cargas de la microrred durante un día. Este perfil de consumos es aplicado a la microrred simulada para comprobar el comportamiento del algoritmo de supervisión y de la aplicación SCADA, desarrolladas para la UTR y la UTM respectivamente.

Tabla 1: Perfil de consumos en 24hs.

Carga	Horario Inicio [hs]	Horario Fin [hs]	Potencia consumida [W]
Tomacorrientes	00:00	00:00	120
	07:30	13:30	250
	15:00	19:00	300
	19:00	20:00	200
Iluminación	00:00	00:00	150
	08:00	13:00	300
	14:00	18:00	350
	07:00	23:30	250
Electrobomba	07:00	07:30	1000
	09:00	09:30	1000
	12:00	12:30	1000
	20:00	21:00	1000

En la Fig. 10 puede apreciarse los resultados obtenidos en la simulación para el perfil de consumos diario aplicado como indica la Tabla 1. En estos resultados se nota el gran aporte de energía que proveen los paneles fotovoltaicos, alcanzando un pico potencia aproximado de 1500 W correspondiente a una radiación de 1000 W/m². Por otra parte, durante el tiempo que actúa el perfil de consumo indicado, puede observarse que no hay uso de la energía de la red eléctrica.

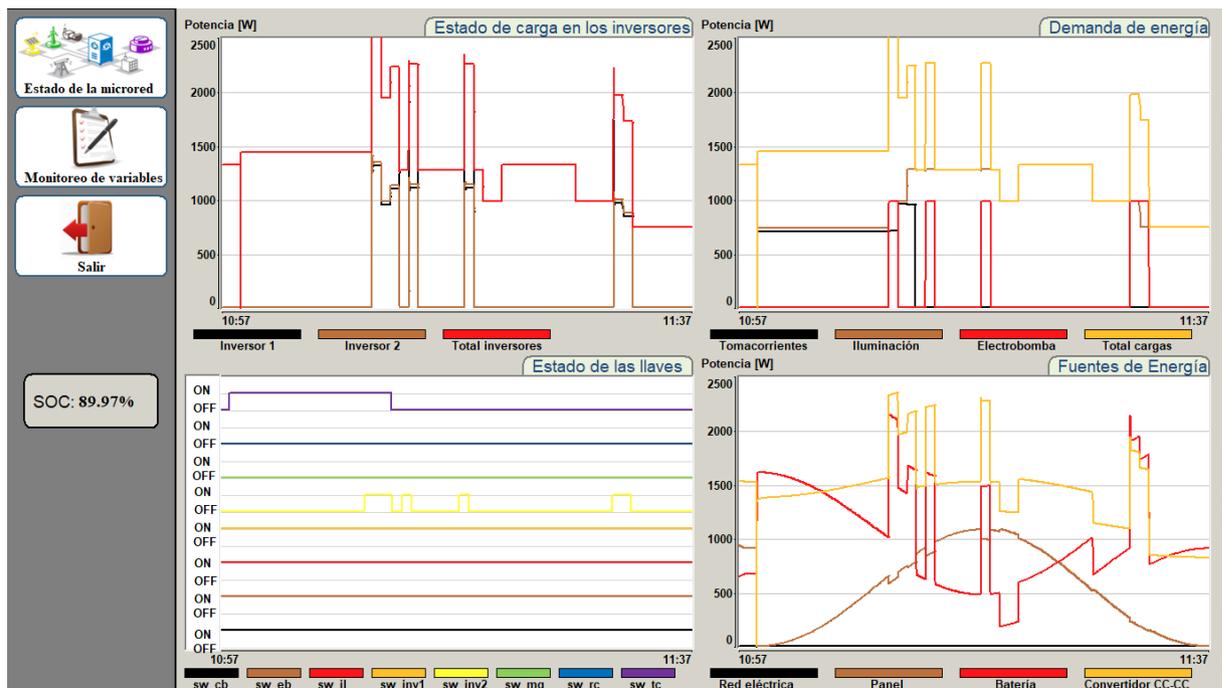


Fig. 10. Gráficos de potencia y estado de las llaves, para operación con un perfil de consumo diario.

Para verificar la entrada en operación del inversor 2, se propone otro escenario de simulación donde se aumenta el consumo en los tomacorrientes y circuitos de iluminación, en conjunto con una

disminución en la radiación solar. Esto hace que el algoritmo de supervisión de la UTR adicione el segundo inversor para así repartir el consumo de la carga entre ambos convertidores. Esto puede observarse en el cuadro “*Estado de carga en los inversores*” que muestra la Fig. 10. Debido a que la potencia nominal de cada inversor de la microrred es de 2 kW, en dicha figura puede verse que el inversor 2 comienza a operar antes de alcanzar dicho límite con el fin de que ambos inversores puedan abastecer el consumo de la carga. Por otra parte, en el cuadro “*Estado de las llaves*” que muestra la Fig. 10, se observa el instante en que entra en operación el segundo inversor mediante la conexión de la llave “*sw_inv2*” y también puede observarse la desconexión de la llave “*sw_tc*” que deshabilita el uso de los tomacorrientes (liberando consumo en la carga) dado que, de acuerdo al SOC de las baterías, la microrred pasa del estado “A” al estado “B” ambos indicados en el DTE de la Fig. 2.

En base a los resultados de simulación presentados, se puede decir que los mismos son acordes a lo esperado para una instalación de este tipo que opera bajo los distintos escenarios de consumo y de disponibilidad de las fuentes de energía en los cuales fue simulado. Esto verifica el correcto funcionamiento del algoritmo de supervisión y de la aplicación SCADA desarrollados, los cuales serán parte del sistema de supervisión propuesto para la microrred en la que se encuentra el sistema de bombeo de agua. Con pequeñas modificaciones y el agregado del algoritmo de comunicación, la UTR quedaría funcionalmente operativa para ensayos de campo.

4. Conclusiones

En este trabajo se presentó el diseño y desarrollo de un algoritmo de supervisión junto a una aplicación SCADA, destinadas estas a la unidad terminal remota (UTR) y a la unidad terminal maestra (UTM) que conforman el sistema de supervisión de una microrred, donde el sistema de bombeo de agua y otros consumos (iluminación y tomacorrientes) forman parte de la carga que posee la misma. Las fuentes de energía empleadas tanto en el sistema de bombeo como para los demás consumos están constituidas por un arreglo de paneles fotovoltaicos, la red eléctrica y un banco de baterías. A partir de estos elementos, con las simulaciones realizadas pudo comprobarse que el algoritmo de supervisión conmuta adecuadamente las llaves de la microrred, gestionando el consumo de las cargas de acuerdo a las fuentes de energía disponibles. Por otra parte, fue corroborado que, mediante el accionamiento de las llaves, el algoritmo también mantiene el suministro de energía a las cargas de la microrred, utilizando mayormente la energía obtenida con los paneles fotovoltaicos, ya sea en forma directa desde los mismos o bien a través de la energía almacenada en el banco de baterías. Las simulaciones realizadas también permitieron verificar la operación correcta de la aplicación SCADA; a través de la misma pudo visualizarse los valores que toman las variables medidas, como así también observar los estados de las llaves, mostrando la evolución de los distintos estados de operación que posee la microrred en base al SOC de las baterías.

Durante el desarrollo del algoritmo y las aplicaciones hubo diversas fallas y problemas los cuales fueron solucionados gracias a las herramientas de simulación utilizadas, siendo las mismas de gran ayuda a la hora de abordar el desarrollo de los sistemas de supervisión para microrredes, como el indicado en este trabajo.

Cabe agregar que a futuro se pretende incluir en el algoritmo de supervisión la detección de fallas en los componentes de la microrred, a modo que pueda tomarse alguna acción correctiva ante esta

situación, continuar con el abastecimiento de energía en forma parcial a las cargas y dar aviso al usuario del sistema en tal caso. Por otra parte, también se pretende implementar el algoritmo de supervisión en una microcomputadora (como ser Raspberry Pi), adicionando el hardware y protocolo de comunicación necesarios para que pueda interactuar con la aplicación SCADA residente en una computadora de escritorio.

Referencias

- [1] Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego
http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-articulo_riego_presurizado.pdf.
- [2] Plan Nacional de Riego: la chance de ahorrar con el bombeo solar de agua
<http://www.infocampo.com.ar/plan-nacional-de-riego-la-chance-de-ahorrar-con-el-bombeo-solar-de-agua/>
- [3] L. Che and M. Shahidehpour, "DC Microgrids: Economic Operation and Enhancement of Resilience by Hierarchical Control," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, no. 5, pp. 2517-2526, Sept. 2014.
- [4] X. Zhaoxia, G. Zhijun, J. M. Guerrero and F. Hongwei, "SCADA system for islanded DC microgrids," *IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Beijing, 2017, pp. 2669-2674.
- [5] M. S. Khan and M. R. Iravani, "Supervisory Hybrid Control of a Micro Grid System," *2007 IEEE Canada Electrical Power Conference*, Montreal, Que., 2007, pp. 20-24.
- [6] Quetzales Domínguez J.E. (2013). Prototipo para la supervisión remota operativa de pequeñas centrales hidroeléctricas utilizando una solución scada.
- [7] SANTOS, R. D. M. S. (2016). Desenvolvimento da IHM de um sistema de monitoramento de descargas parciais no ambiente de uma subestação de sistemas elétricos.
- [8] Guembe Zabaleta, Javier "Cálculo del estado de carga en baterías de plomo-ácido: diseño y validación experimental," 2016.
- [9] Battery Management System - State of Charge Estimation
<https://www.jackogrady.me/battery-management-system/state-of-charge>.
- [10] MolinaFracicelli, J.C. (2013). Simulink Code Generation: Tutorial for Generating C Code from Simulink Models using Simulink Coder.