

MONITORIZACIÓN DE UN PARQUE SOLAR FOTOVOLTAICO

Por Ing. Wendy Rodríguez Rivero*, Dr. C. Roberto Luis Ballesteros Horta** e Ing. Miguel López Leiva***

* Empresa Eléctrica Villa Clara, Cuba.

E-mail: wendyrr9208@gmail.com

** Profesor titular. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba.

E-mail: rball@uclv.edu.cu

*** Empresa Eléctrica Villa Clara, Cuba.

E-mail: mlopez@elecvccl.une.cu

Resumen

Dentro del conjunto de energías renovables, la solar fotovoltaica se identifica como una de las mejores soluciones desde el punto de vista tecnológico, medioambiental y económico. La tecnología en parques solares fotovoltaicos posee cada vez equipamientos más automatizados, complejos y en los que coexiste una gran diversidad de elementos tales como autómatas, ordenadores y accionamientos. A medida que aumenta la flexibilidad de los sistemas fotovoltaicos, aumenta la complejidad del sistema de control necesario para gobernarle. El parque solar referenciado cuenta con una red basada en la norma IEC-61850 que permite integrar todas las funciones de protección, control, medición y supervisión de los dispositivos electrónicos inteligentes. Se plantean las bases de un sistema de monitorización remota del sistema eléctrico de parques solares, para lo cual se necesita configurar un confiable y eficaz bus de comunicaciones entre los dispositivos de medición y el Gateway, este último es responsable de hacer posible, a las máquinas de una red local LAN conectadas a él, tener un acceso hacia una red exterior y a su vez realizar la conversión de las variables almacenadas al protocolo Modbus/TCP.

Palabras clave: Parque solar fotovoltaico, monitorización, Modbus.

MONITORING OF THE A PHOTOVOLTAIC SOLAR PARK

Abstract

Within the group of renewable energies, the photovoltaic solar is proposed as one of the best solutions from a technological, environmental and economic point of view. The technology in photovoltaic solar parks has more and more automated, complex equipment and in which a great diversity of elements such as automata, computers and drives coexist. As the flexibility of photovoltaic systems increases, the complexity of the control system necessary to govern also increases. The referenced solar park has a network based on the IEC-61850 standard that allows integrating all the protection, control, measurement and supervision functions of intelligent electronic devices. The foundations of a remote monitoring system for the solar park electrical system are laid out, for this it is necessary to configure a reliable and efficient communication bus between the measurement devices and the Gateway, the latter being responsible for making possible a local LAN network connected to it, have access to an external network and in turn perform the conversion of the stored variables to the Modbus/TCP protocol.

Key words: Photovoltaic solar park, monitoring, Modbus.

I. Introducción

La electricidad es una de las formas de energía más versátiles y que mejor se adapta a cada necesidad. Su utilización está tan extendida que difícilmente podría con-

cebirse una sociedad tecnológicamente avanzada que no hiciese uso de ella.

El incremento de consumo energético en los últimos años, debido al progreso de los sectores industriales y de servicios,

está creciendo de forma notable. La búsqueda de nuevas fuentes renovables de energía debe avanzar en paralelo con el concepto de desarrollo sostenible que demanda nuestra sociedad.

El aumento de la demanda de consumo eléctrico ha propiciado la búsqueda de nuevas fuentes de energía y nuevos sistemas de producción eléctrica. La tendencia actual es la utilización de energías renovables, y es aquí donde cobra importancia la energía solar [UNE, 2010].

La energía solar eléctrica, o fotovoltaica, es una energía limpia y renovable, de fácil instalación y mantenimiento. Según F. Sol Rey [Sol Rey, 2017], la energía solar fotovoltaica solo representa hoy un pequeño porcentaje del suministro de energía eléctrica que satisface las necesidades de consumo en todo el mundo, y se prevé su rápido y significativo crecimiento, basado en el actual desarrollo de la tecnología y el compromiso medioambiental de los países más desarrollados.

Para ello se propone conceptualizar el proceso de diseño de un sistema el cual permita la monitorización de manera efectiva de dispositivos permisibles en los parques solares fotovoltaicos que trabajen bajo la tecnología del parque en estudio de este proyecto

II. Desarrollo

Varias son las formas de aprovechar el sol para la producción de electricidad; se distingue entre:

- Métodos indirectos: el sol se aprovecha para calentar un fluido y convertirlo en vapor, con el fin de producir electricidad mediante el movimiento de un alterador. La producción de la electricidad se realiza mediante un ciclo termodinámico convencional, como se haría en una central térmica de combustible fósil.
- Métodos directos: en ellos la luz de sol es convertida directamente a electricidad mediante el uso de las células solares. Se aplica en sistemas conectados a red y sistemas aislados [UNE, 2010].

1. Energía solar

La energía solar es el recurso energético más abundante en la Tierra, la superficie del planeta recibe en una hora el equivalente al total de energía consumida por todos los humanos en un año. Esta puede ser aprovechada tanto para generar electricidad como calor [Hernández Pérez de Corcho, 2016].

2. Efecto fotovoltaico

Las células fotoeléctricas son dispositivos basados en la acción de radiaciones luminosas sobre ciertos materiales, normalmente metales. El efecto de esas radiaciones puede ser de tres tipos:

- Efecto fotoemisor o fotoexterno: Provoca un arranque de electrones con liberación de los mismos.
- Efecto fotoconductor o fotointerno: Modifica la conductividad eléctrica del material.
- Efecto fotovoltaico: Crea una fuerza electromotriz en el material. Puesto que en circuito abierto no circula

corriente, en los terminales abiertos de una unión P-N¹ se obtiene una fuerza electromotriz fotovoltaica.

Las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica están basadas en el aprovechamiento de este efecto fotovoltaico, proceso mediante el cual una célula fotovoltaica convierte la luz solar en electricidad. La luz solar está compuesta por fotones, o partículas energéticas de distintas energías, correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro solar.

Cuando los fotones inciden sobre una célula fotovoltaica, pueden ser reflejados o absorbidos, o pueden simplemente atravesarlas, pero únicamente los fotones absorbidos generan electricidad. Cuando un fotón es absorbido, la energía del fotón se transfiere a un electrón de un átomo de la célula. Con esta nueva energía el electrón es capaz de escapar de su posición normal asociada con un átomo, para formar parte de una corriente en un circuito eléctrico.

La célula fotovoltaica es un dispositivo semiconductor capaz de convertir los fotones procedentes del Sol en electricidad de una forma directa e inmediata, es decir, es el dispositivo responsable del efecto fotovoltaico.

Cuando incide la luz sobre una célula, se produce un efecto caótico en la unión P-N del semiconductor que libera electrones, dando lugar a una corriente eléctrica [Hernández Pérez de Corcho, 2016]. Ver Fig. 1.

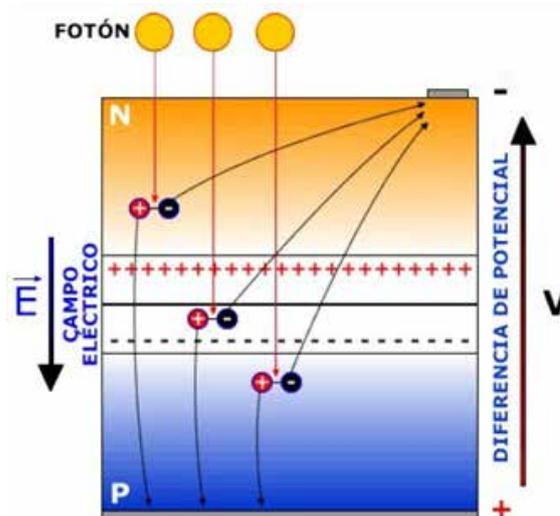


Fig. 1. Efecto fotovoltaico.

Fuente 1 [Hernández Pérez de Corcho, 2016].

3. Radiación solar

La radiación que recibimos del Sol e ingresa a la atmósfera es absorbida, reflejada y dispersada por las nubes, las partículas y las moléculas que componen la atmósfera terrestre. De esta manera la atmósfera a través de su composición, influye en la cantidad de radiación solar que llega a la superficie del planeta en cada punto y en cada momento [Hernández Pérez de Corcho, 2016].

¹ Estructura fundamental de los componentes electrónicos comúnmente denominados semiconductores.

4. Energía solar como energía renovable

Entre las fuentes de energía renovables, según Lewis y Nocera [Lewis and Nocera, 2006], la energía solar es, con mucho, el mayor recurso explotable. En vista de la intermitencia de la insolación, para que la energía solar sea una de las principales fuentes de energía primaria, debe almacenarse y enviarse al usuario final cuando este lo solicite.

La fuente de energía más constante con la que cuenta nuestro planeta es la proveniente del Sol, que alcanza alrededor de 1367W/m^2 en la capa exterior de la atmósfera.

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. La energía solar absorbida por la Tierra, según Hernández Pérez de Corcho [Hernández Pérez de Corcho, 2016], en un año, es equivalente a veinte veces la energía almacenada en todas las reservas de combustibles fósiles en el mundo y diez mil veces superior al consumo actual.

La energía solar es la energía contenida en la radiación solar que es transformada mediante los correspondientes dispositivos, en forma térmica o eléctrica, para su consumo posterior. El elemento encargado de captar la radiación solar y transformarla en energía útil es el panel solar, pudiendo ser de dos clases: captadores solares térmicos y módulos fotovoltaicos.

La energía solar fotovoltaica como fuente renovable, se presenta como una alternativa respetuosa con el medioambiente. La fuente de energía es inagotable y el impacto del proceso de generación de energía es prácticamente nulo sin emisiones a la atmósfera ni ruidos [Bermúdez Matute, 2009].

La energía fotovoltaica consiste en la transformación directa de la radiación solar en energía eléctrica. Esto se logra al aprovechar las propiedades de los materiales semiconductores mediante las células fotovoltaicas. Cuando la luz del Sol, que son los fotones, incide en una de las caras de la célula fotovoltaica genera una corriente eléctrica que se suele utilizar como fuente de energía.

Este proceso se realiza en los módulos o paneles fotovoltaicos, que son el resultado de la conexión en serie y paralelo de celdas fotovoltaicas. La asociación de ellos en serie y(o) paralelo conforman los generadores fotovoltaicos. Esta corriente producida puede ser utilizada para cargar baterías o ser convertida a corriente alterna mediante un dispositivo denominado inversor. Existen otras tecnologías que permiten utilizar la energía proveniente del Sol, los cuales se nombran a continuación:

- Energía solar pasiva: Aprovecha el calor del Sol sin necesidad de mecanismos o sistemas mecánicos.
- Energía solar termoeléctrica: Aprovecha la energía calórica para producir electricidad, lo que se logra a través de un ciclo termodinámico convencional, mediante el cual se calienta algún tipo de fluido a alta temperatura (aceite térmico).
- Energía solar híbrida: Consiste en utilizar, además de la energía solar, otro tipo de energía. Esto se conoce como hibridación y si depende del tipo de energía que se combine, será:

- Renovable: Biomasa, energía eólica.
- Fósil.

- Energía eólico solar: Consiste en utilizar el aire calentado por el Sol, para hacer girar los generadores ubicados en la parte superior de una chimenea [Hernández Pérez de Corcho, 2016].

5. Parques solares fotovoltaicos

Los parques fotovoltaicos son grupos de generación de potencias importantes, conectados generalmente a la red de distribución eléctrica de media tensión. Pueden estar conformados por un gran número de generadores fotovoltaicos individuales de diversas potencias (50, 100, 630 kW...) y suelen construirse en zonas rurales. La generación de energía eléctrica fotovoltaica consiste en la utilización de fuentes de energía renovable que no emitan CO_2 , por lo que las instalaciones de parques fotovoltaicos tienen un impacto medioambiental muy positivo, ya que sitúa a la energía fotovoltaica como una de las más limpias y ecológicas [Sol Rey, 2017].

6. SCADA

SCADA es el acrónimo de Supervisory Control and Data Acquisition. Un SCADA es un sistema basado en computadoras que permiten supervisar y controlar a distancia una instalación de cualquier tipo, proporciona comunicación con los dispositivos de campo como controladores autónomos, autómatas programables y controla el proceso de forma automática desde la pantalla de la computadora.

Un sistema SCADA clásico es un sistema jerárquico compuesto de uno o más servidores de procesamiento con la interfaz hombre-máquina (HMI), equipos de comunicación, adquisición de datos (DAQ) y, por último, sensores, transductores y dispositivos de control [Georgescu, 2014].

El sector fotovoltaico también se puede hacer más competitivo con la actualización de los SCADA de las plantas para la monitorización y control [News., 2019].

Los servidores SCADA deben recopilar datos en tiempo real del campo. Para que esto suceda se necesita una red fiable y rápida. Los equipos de enrutamiento y conmutación deben estar conectados entre sí en una red redundante con un tiempo de recuperación reducido. El entorno de transmisión puede ser cable de cobre, fibra o inalámbrico, este último puede ser GSM², GPRS³, EDGE⁴ o WiFi⁵, y depende de la ubicación de los dispositivos.

La comunicación entre dispositivos se realiza mediante diferentes protocolos industriales como Profibus, Hart, CAN, Modbus, Profinet, Industrial Ethernet, sobre 2 o 4 hi-

2 Global System for Mobile Communications (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles)

3 General Packet Radio Service (Servicio General de Paquetes Vía Radio)

4 Enhanced Data Rates GSM of Evolution (Tasas de Datos Mejoradas para la evolución de GSM)

5 Tecnología que permite la interconexión inalámbrica de dispositivos electrónicos.

los o sobre cable UTP, IEC 60870, IEC 61850 y DNP3; estos últimos son los protocolos más utilizados para la comunicación en subestaciones eléctricas.

Además de la arquitectura de hardware de un sistema SCADA, el software implementado es lo que marca la diferencia. Aunque cada industria es diferente y para cada aplicación el software debe ser personalizado, hay algunas características generales que un software SCADA debe soportar:

- interfaz con diferentes tipos de hardware, equipos de diferentes proveedores en diferentes parques fotovoltaicos
- archivar grandes flujos de datos, donde los datos en tiempo real son muy importantes en el sector energético
- topología de red fácil y transparente para el usuario, a las que se pueden introducir parques adicionales en el sistema
- redundancia de los clientes de la interfaz y del programa de base de datos
- visualización en tiempo real; para usuarios locales o remotos de algunas acciones deben ser tomadas inmediatamente, para proteger los sistemas
- proporcionar indicadores de calidad, eficiencia y rendimiento
- proporcionar datos para el mantenimiento predictivo

Un problema importante con los sistemas SCADA es que a menudo están integrados verticalmente, cerrados y restringidos. Es por eso que los protocolos abiertos y una mayor apertura con los datos son muy deseados [Georgescu, 2014].

7. ION Enterprise

EL SCADA ION Enterprise de Schneider Electric permite gestionar la información brindada por los dispositivos de medición y control instalados en lugares remotos. ION admite múltiples estándares de comunicación y protocolos disponibles en varios dispositivos de medición inteligente. También puede conectarse a sistemas de supervisión de energía existentes a través de protocolo estándar de la industria como Modbus, OPC, DNP y XML. Ver Anexo, Fig. 5.

El componente «Vista» de ION Enterprise muestra representaciones gráficas de su sistema de monitoreo de energía. Vista muestra en tiempo real e histórico información, objetos visuales que indican el estado actual de su sistema y objetos interactivos que puede usar para realizar ciertas acciones, como reconocimiento de alarmas.

Se usa el componente «Management Console» de ION Enterprise para agregar y configurar componentes de red, tales como servidores, sitios (enlaces de comunicación) y dispositivos. Ver Anexos Figs. 3 y 4.

La consola de administración también proporciona acceso al sistema y a la base de datos, aplicaciones y utilidades para administrar elementos, tales como cuentas de usuario y licencias de software.

Se utiliza el componente «Designer» de ION Enterprise para realizar una amplia gama de funciones, desde la configuración de registros de configuración de dispositivos ION

en su red, hasta la creación de complejos frameworks (marcos de trabajo), que utilizan una combinación de módulos ION de nodos de hardware o software [Electric., 2009].

8. Telecontrol

Los sistemas de control remoto hacen referencia a la conexión de varias estaciones de proceso dispersas en una amplia zona, a uno o más sistemas centrales de control.

El telecontrol, o telemando consiste en el envío de indicaciones a distancia mediante un enlace de transmisión que puede ser a través de cables, radio y dirección IP, entre otros. Para llevar a cabo esto se utilizan órdenes enviadas para controlar un sistema o sistemas remotos que no están directamente conectados al lugar desde donde se envía el telecontrol [Transener, 2011].

El sector fotovoltaico también puede ser más competitivo con la actualización de los SCADA de las plantas para la monitorización y control [News., 2019].

III. Descripción tecnológica

El PSFV Marrero de la provincia de Villa Clara, municipio Santa Clara es el parque solar fotovoltaico a monitorear y cuenta con módulos fotovoltaicos de silicio (poli cristalino) con potencia de 250 Wp⁶ y tolerancia positiva. La conexión entre módulos es mediante cables con conectores del tipo Multi-contact para garantizar su rápida instalación con máxima fiabilidad y durabilidad de las conexiones. Cuenta también con inversores SG500MX de potencia 500 kW ubicados en contenedores de 1 MW (2 X 0,5). Dispone de una alimentación independiente para servicio de planta que asegura energía para la vitalidad de los inversores, el sistema de monitoreo y el sistema de protección física.

El parque solar de este trabajo posee un sistema de supervisión remota para la comunicación y parámetros a transmitir; para ello se emplea un sistema de monitoreo definido por el fabricante. Para monitorear las variables meteorológicas adicionales (temperatura ambiente, temperatura de módulos, velocidad del viento, entre otras) tiene instalado sensores externos. A través de los inversores se registran todos los parámetros operacionales de interés. Para la transmisión de los datos que se definan se emplea un data logger con módem de amplias prestaciones [Frómata Martínez, 2018]. Ver Anexo, Figs. 6, 7, 8 y 9.

1. Equipamiento ubicado en el PSFV, generalmente cuenta con:

- 28 Cajas de conexión de cadenas SunBoxTM PVS-16M.
- 400 mesas.
- 8800 Módulos fotovoltaicos de 250 Wp.
- 28 Cajas de conexión SunBoxTM PVS-16M.
- 2 Contenedores tecnológicos con:

2 inversores SG500MX
2 transformadores de 1000 kVA

⁶ Watt pico (Wp): cantidad de potencia producida por una célula o módulo bajo las condiciones nominales de irradiación.

Local de celdas de 13.8 kV

- Casa de Control

2. Tecnología

El parque solar fotovoltaico (PSFV) Marrero, ubicado en la provincia Villa Clara, municipio Santa Clara, consejo popular Hatillo, cuenta con una potencia total de 2,2 MWp y 2 MWn.

Este proyecto se origina por el interés de desplegar parques fotovoltaicos conectados a las redes eléctricas como vía para incrementar la capacidad de generación eléctrica instalada, diversificar las fuentes de generación reduciendo consumos de combustibles fósiles y atenuar la contaminación atmosférica asociada a su quema, empleando la transformación directa en electricidad de la radiación solar, fuente renovable con manifestación estable y predecible, que ha sido bien estudiada y caracterizada desde el punto de vista energético.

Los parques tienen operadores in situ para la protección, el mantenimiento ligero y supervisar su funcionamiento; por vía remota, a través de sistemas de comunicaciones convencionales, se tiene información sobre la operación; se prevén intervenciones planificadas de un personal mínimo para su mantenimiento o reparaciones de mayor envergadura.

El parque solar referenciado tiene un pequeño local de control automático que aloja los armarios generales de protecciones y de medición de la energía y con facilidades básicas para apoyar las labores de verificación y mantenimiento. Además, cuenta con un sistema automatizado de vigilancia tecnológica y sistema de alarma contra intrusos [Frómata Martínez, 2018].

3. Implementación del SCADA

Para la configuración, publicación y exportación de las variables del PSFV se utiliza el sistema de módulos del SCADA ION Enterprise.

Estos sistemas, que se emplean para leer la información de los diferentes dispositivos, son una garantía para conocer el estado de funcionamiento de equipos y sistemas y, así, poder actuar sobre ellos de forma oportuna.

Asimismo, tienen asociados múltiples beneficios como la reducción de costos y desplazamientos innecesarios, tiempos de reparación, la posibilidad de anticiparse a posibles fallos, así como la capacidad de disponer de un registro histórico de datos [Valladares e Infante, 2013].

IV. Resultados

Las principales ventajas asociadas al uso de esta tecnología para la generación de energía eléctrica se resumen en que:

- Son sistemas sencillos y fáciles de instalar.
- La generación de electricidad con fuentes renovables de energía hace más competitivo al país.
- Fomenta la creación de empleos.
- Contribuye a la diversificación de la matriz energética del país.
- Proviene de una fuente de energía inagotable y gratuita.
- No provoca ningún tipo de contaminación medioambiental, ni por emisión ni por vertido.

- No produce ruidos.
- Reduce la dependencia energética externa, ya que no consume combustible, ni precisa de un suministro exterior.
- Facilita la realización de ampliaciones, a futuro, de la potencia de la instalación.
- Disminuye las pérdidas del sistema eléctrico al conectarse a la red de distribución, es decir, cerca de la carga.
- Disminuye el costo de la electricidad, en general y el que se entrega a los consumidores.
- Elevada versatilidad, los sistemas pueden instalarse en casi cualquier lugar y las instalaciones pueden ser de cualquier tamaño, en dependencia del terreno disponible.
- Las instalaciones son fácilmente modulables, con lo que se puede aumentar o reducir la potencia instalada fácilmente según las necesidades.
- Las plantas apenas requieren mantenimiento y tienen un riesgo de avería muy bajo.
- Los módulos gozan de una larga vida.
- Los sistemas resisten condiciones climáticas extremas: granizo, viento, frío.

En la Fig. 2 se muestra representado el monolineal del Parque Solar Fotovoltaico Marrero y sus mediciones, tanto meteorológicas como eléctricas.

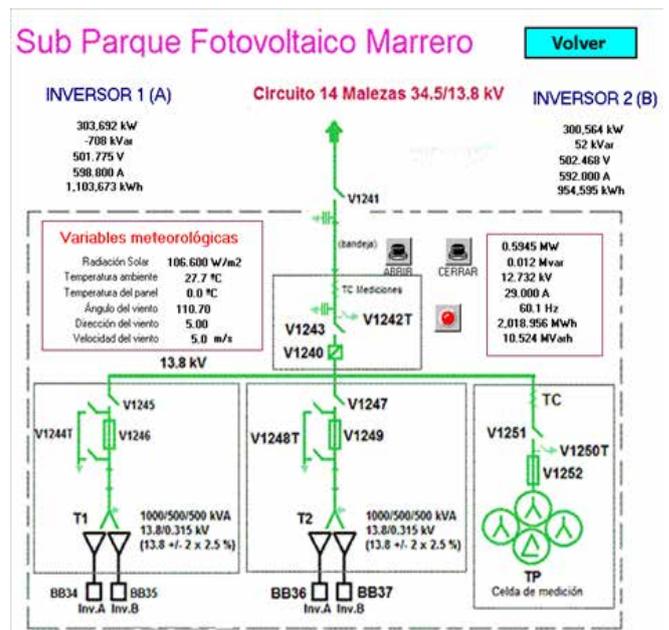


Fig. 2. Ejemplo de Monolineal del PSFV Marrero. Fuente 2 [Electric., 2007].

V. Conclusiones

Debido al gran avance que existe en el mercado y la alta fiabilidad que presenta, la energía solar fotovoltaica se ha convertido en la tercera fuente de energía renovable en el mundo después de la hidráulica y la eólica. Las razones por las cuales esta fuente de energía renovable en el mundo toma ese lugar, son la disminución del precio y el aumento de su eficiencia. En el mundo las grandes potencias económicas son líderes de la energía fotovoltaica,

convirtiéndola en una energía alternativa para un desarrollo sostenible [Hernández Pérez de Corcho, 2016].

La visualización de las mediciones del Parque Solar Fotovoltaico, así como el estado y el control a distancia del interruptor central, y la configuración del software PowerLogic ION Enterprise para poder exportar información contenida en el mismo hacia a otros sistemas SCADA a través del protocolo de comunicación MODBUS/RTU, resulta una metodología generalizada a seguir para cualquier sistema que se comunique con dicho protocolo y posea las características y tecnologías descritas en epígrafes anteriores. Además, permite una operación del Sistema Electroenergético Nacional más fiable.

El programa solar fotovoltaico evaluado constituye una fuente de energía limpia con impacto positivo sobre el medioambiente. Los bajos costos de operación hacen de esta fuente de obtención de energía una variante tecnológica competitiva.

VI. Referencias bibliográficas

- BERMÚDEZ MATUTE, C. L. (2009). *Estudio de los sistemas fotovoltaicos de pozos inyectoros de agua, en el área Jusepín*. Universidad de Oriente. Venezuela.
- ELECTRIC., S. (2007). «Guía de soluciones. Parques Fotovoltaicos».
- ELECTRIC., S. (2009). «PowerLogic™ ION Enterprise™ 6.0, Power management software, User guide».
- FRÓMETA MARTÍNEZ, D. (2018). «Estudio de Pre Factibilidad Técnico Económico y Financiero. Parque Solar Fotovoltaico Marrero 2.2 MW. Programa de Instalación de 100 MW».
- GEORGESCU, V.-C. (2014). «SCADA software used in dispatch centre for photovoltaic parks» [Online]. Available: \ https://www.researchgate.net/publication/308851203_SCADA_software_used_in_dispatch_centre_for_photovoltaic_parks.
- HERNÁNDEZ PÉREZ DE CORCHO, D. (2016). «Estudio del estado de operación del parque solar fotovoltaico del Frigorífico en Villa Clara». Trabajo de Diploma, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.
- LEWIS, N. S. & D.G. NOCERA, (2006). *Powering the planet: chemical challenges in solar energy utilization*. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17043226> [Accessed January 20th 2019].
- NEWS., E. 2019. *Green Eagle Solutions irrumpe en el sector fotovoltaico con sus soluciones SCADA* [Online]. Available: <https://www.energynews.es/soluciones-scada/>.
- SOL REY, F. (2017). «Guía Técnica de aplicación para instalaciones de energías renovables. Instalaciones Fotovoltaicas».
- TRANSENER (2011). «Sistemas de control y modo de comando» [Online]. Available: <http://ingenieriaelectricaexplicada.blogspot.com/2011/07/sistemas-de-control-y-modo-de-comando.html> [Accessed]. [Accessed January 25th 2019].
- UNE (2010). «Componentes de una instalación solar fotovoltaica».
- VALLADARES, E. & J. INFANTE (2013). «Implementación de un sistema de telecontrol SCADA para mejorar la operación del sistema de distribución subterráneo de Energía San Juan S.A.».

VII. Anexos

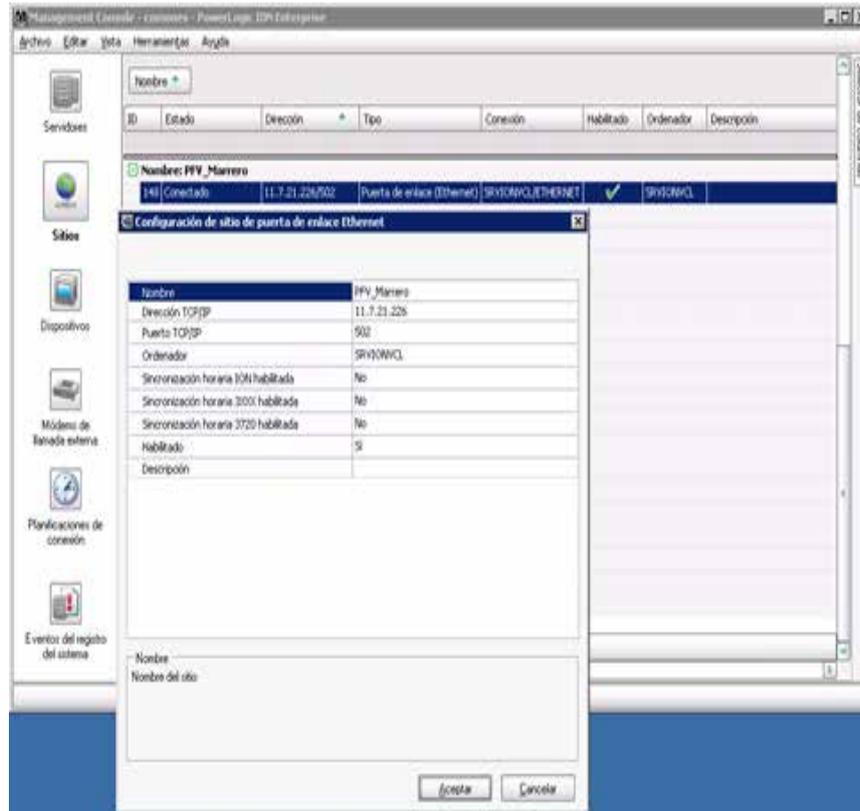


Fig. 3. Configuración del Sitio PSFV Marrero.
Fuente 3 [Electric., 2009].

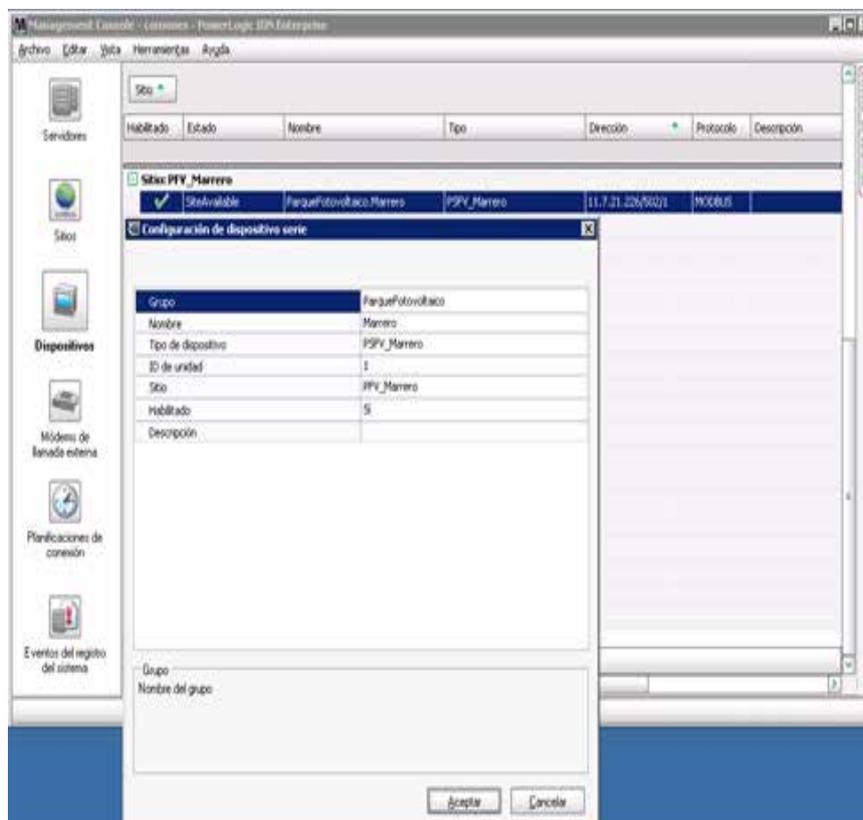


Fig. 4. Configuración del Dispositivo del PSFV Marrero.
Fuente 4 [Electric., 2009].



Fig. 5. SCADA ION Enterprise.
Fuente 5 [Electric., 2009].



Fig. 6. Mesas con paneles fotovoltaicos.
Fuente 6 [Frómata Martínez, 2018].

Inversor Specifications

Items	Specifications
Input (DC)	
Max DC power	1000W
Max DC input vol	1000V
Max voltage	1000V
Min working voltage	100V
MPPT volt range	100Vdc - 800Vdc
Max DC input current	1170A
No. of DC inputs	2x1
Output (AC)	
Rated output power	1000W
Max output power	1000W
Max AC output current	1000A
Rated grid voltage	230VAC
Grid voltage range	170V - 270V
Rated grid frequency	50/60Hz
Grid frequency range	47 - 60Hz/±0.5%
THD of output current	< 3% at nominal power
DC current injection	±3% of rated output power
Power Factor adjustable	1 (leading) - 1 (lagging)
Efficiency	
Max efficiency	97.7% (without transformer)
European efficiency	97.5% (without transformer)
Protection	
Input side disconnection	DC switch
Output side disconnection	AC switch
DC overvoltage protection	Yes
AC overvoltage protection	Yes
Grid monitoring	Yes
Grid fault monitoring	Yes
Over temperature protection	Yes
Inaudible monitoring	Yes
Surge protection for ac power supply	Yes
General Info	
Dimension (WxHxD)	440x110x160mm
Net weight	1.7kg
Operating temperature	-40°C - +40°C up to 10°C without derating
Power consumption at night	< 10W
External ac power supply voltage	230V (r.s.)
Mounting Method	Controlled force air cooling
Input Protection	IP20 (indoor)
Relative humidity	0 - 95% non-condensing
Max operating altitude	5000m (operation with derating above 3000m)
Power air consumption	4000L/h
Display	Touch screen
Communication protocol	Modbus
Standard Comm. Interface	RS485



Fig. 7. Inversor SG500MX.
Fuente 7 [Frómata Martínez, 2018].

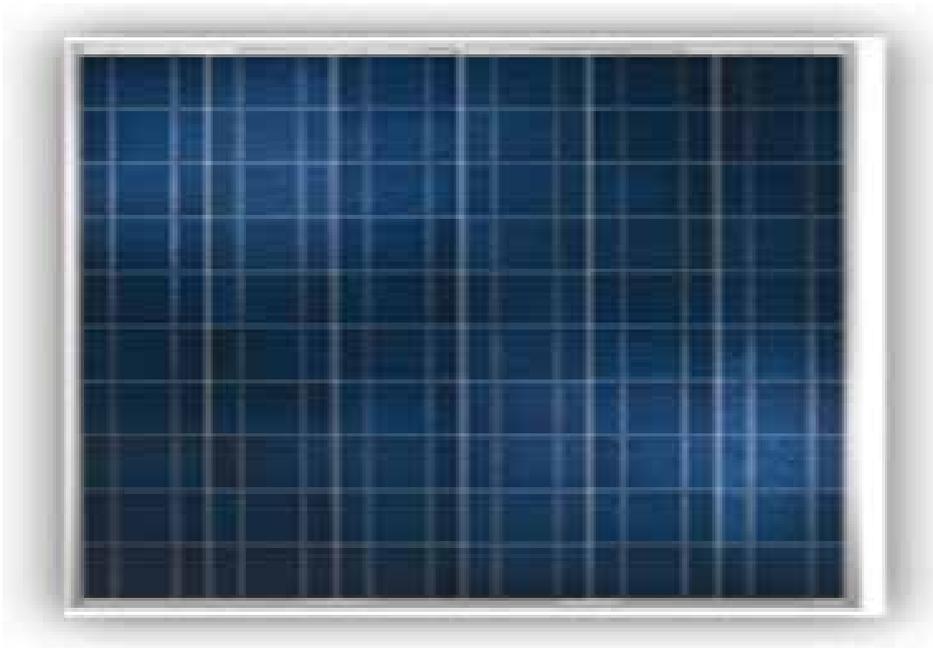


Fig. 8. Módulo fotovoltaico de silicio poli cristalino.
Fuente 8 [Frómata Martínez, 2018].



Fig. 9 Cajas de Conexión SunBox™ PVS-16M.
Fuente 9 [Frómeta Martínez, 2018].