

# Cloud Monitoring Platform for the Operation of a Photovoltaic Solar charging station for electric vehicles

## Plataforma Cloud de Monitoreo del Funcionamiento de una Electrolinea Solar Fotovoltaica

Rubén Nogales<sup>1</sup>Jesús Guamán<sup>1</sup>Carlos Vargas<sup>1</sup>Alberto Ríos<sup>1</sup><sup>1</sup>Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador

E-mail: re.nogales@uta.edu.ec; jguaman0585@uta.edu.ec; cvargas0028@uta.edu.ec, a.rios@uta.edu.ec

### Abstract

The Ecuadorian government is interested in promoting the integration of renewable energies in the transport sector with special attention to the Galapagos Islands. In this context, this paper describes the design and implementation of a computer cloud platform loud of monitoring of the behavior of a charging station for electric vehicles, powered from an isolated photovoltaic solar system currently operating at the Huachi campus of the Technical University of Ambato. In the present study a brief description of the design, dimensioning, installation and commissioning of photovoltaic solar charging station for electric vehicle installed at the city of Ambato is presented. Remote monitoring of the integrated electric station into a cloud platform ensures optimal track the performance of solar installations in different geographical areas of the country. In this sense the photovoltaic solar charging station for electric vehicles represents a replicable and scalable prototype in isolated areas, is special in the Galapagos Islands. The remote monitoring cloud platform allows analyzing the behavior of the different elements of the solar installation: panels, regulators, batteries and inverters. The presentation of the acquired data visually allows the load recorder of the installation the correct behavior of the electric station and be alert to unexpected failures, guaranteeing the normal operation of the electric station.

**Index terms--** Photovoltaics solars, charging station electric vehicles, monitoring platform, cloud computing.

### Resumen

El Estado ecuatoriano está interesado en promover la integración de energías renovables en el sector transporte, con especial atención a las islas Galápagos. En este contexto, el presente artículo describe el diseño e implementación de una plataforma informática cloud de monitoreo del comportamiento de una estación de recarga de vehículos eléctricos, alimentada desde un sistema solar fotovoltaico aislado, actualmente en funcionamiento en el campus Huachi de la Universidad Técnica de Ambato. En el presente estudio se realiza una breve descripción del diseño, dimensionado, instalación y puesta en marcha de la electrolinea solar fotovoltaica instalada en la ciudad de Ambato. El monitoreo remoto de la electrolinea está integrado en una plataforma cloud que garantiza realizar el seguimiento del óptimo funcionamiento de instalaciones solares en diferentes zonas geográficas del país. En este sentido, la electrolinea solar fotovoltaica representa un prototipo replicable y escalable en zonas aisladas, en especial en las islas Galápagos. La plataforma cloud de monitoreo remoto permite analizar el comportamiento de los diferentes elementos de la instalación solar: paneles, reguladores, baterías e inversores. La presentación de los datos adquiridos de forma visual permitirá al personal a cargo de la instalación registrar el correcto comportamiento de la electrolinea y estar alerta ante fallos inesperados, garantizando el normal funcionamiento de la electrolinea.

**Palabras clave—** Paneles solares, carga de vehículos eléctricos, plataforma de monitoreo, cloud computing

Recibido: 04-05-2018, Aprobado tras revisión: 25-07-2018

Forma sugerida de citación: Nogales, R.; Guamán, J.; Vargas, C.; Ríos, A. (2018). "Plataforma Cloud de Monitoreo del Funcionamiento de una Electrolinea Solar Fotovoltaica". Revista Técnica "energía". No. 15, Issue I, Pp. 80-89

ISSN On-line: 2602-8492 - ISSN Impreso: 1390-5074

© 2018 Operador Nacional de Electricidad, CENACE

## 1. INTRODUCCIÓN

Entre el año 2009 y 2017, el coste nivelado promedio de la energía eléctrica generada en instalaciones solares fotovoltaicas se ha reducido en un 86%, pasando de 359 \$/MWh, en el año 2009, a 50\$ a finales del año 2107 [1]. El monitoreo remoto de los parámetros técnicos de los elementos de un sistema fotovoltaico permite garantizar el correcto funcionamiento de la instalación y disponer de información para la realización de actividades de operación y mantenimiento programado [2]. El uso de sistemas de monitoreo remoto para la conexión de la instalación fotovoltaica con los centros de control renovables representa un significativo ahorro en costes de operación y mantenimiento. En los sistemas fotovoltaicos residenciales, la instalación de dispositivos de monitoreo remoto podría no proporcionar un significativo beneficio económico en comparación con las grandes instalaciones renovables conectadas a la red de alta tensión. No obstante, el abaratamiento de los costes de los dispositivos eléctricos de monitorización, así como la versatilidad de los sistemas informáticos de almacenamiento de datos, por ejemplo, las plataformas cloud computing, hacen económicamente viables la implementación de sistemas de monitoreo remoto en sistemas fotovoltaicos residenciales, conectados a red y aislados.

La integración de plataformas informáticas en los sistemas fotovoltaicos residenciales permite adquirir datos desde los diferentes elementos, que conforman la instalación fotovoltaica, y generar reportes de generación/consumo para los usuarios finales. En la actualidad, los sistemas de monitoreo remoto en instalaciones fotovoltaicas evolucionan hacia la detección de fallas y el desarrollo de estrategias y técnicas avanzadas de diagnóstico y evaluación de la fiabilidad del sistema fotovoltaico, [3].

La problemática de integración de sistemas fotovoltaicos en las redes de distribución de zonas urbanas es un tema de actualidad en la literatura científica debido a la gran incidencia que presentan la instalación de cargas de vehículos eléctricos en varios países. Estudios realizados en relación con la interacción energética entre instalaciones fotovoltaicas, sistemas de recarga de vehículos eléctricos y la red eléctrica desvelan los beneficios técnicos y económicos de la integración de sistemas fotovoltaicos en el sector residencial [5].

El desarrollo de los sistemas de monitoreo de instalación fotovoltaicos aisladas y sistemas de recarga de baterías de vehículos eléctricos se han desarrollado en los últimos años. En este contexto se presenta un análisis de los trabajos relacionada con sistemas de monitoreo de estaciones fotovoltaicas aisladas y estaciones de carga de vehículos eléctricos.

En [6] y en [7] se presenta un estudio de las

plataformas comerciales y de desarrollo libre de monitoreo remoto de instalaciones fotovoltaicas. Las plataformas de monitoreo estudiadas en estos artículos responden a sistemas cerrados o comerciales de pago, por lo que el uso de estos sistemas encarece las instalaciones de sistemas fotovoltaicos aislados. La instalación de alarmas, así como el uso de sistemas remotos multi-plataformas están ligados a los sistemas que entregan los proveedores de estos servicios. En mucho de los casos estos sistemas no son escalables ya que están diseñados para cumplir funciones determinadas. Los mencionados artículos han sido base para el desarrollo de metodologías y algoritmos en los sistemas monitoreo remoto de instalaciones. Muchos de los estudios realizados para el monitoreo de sistemas remotos se basan en la simulación de la obtención de datos para la entrega de resultados periódicos.

En los últimos años se han introducido varios conceptos en el campo de la ingeniería uno de los más importantes es el de Smart Grid, que tienen como objetivo el monitoreo y control de la generación, transmisión y consumo de una red eléctrica. En [8], se propone una plataforma basada en una cloud computing con soporte de seguridad de datos. En el artículo se propone el análisis del impacto de PV solar en tiempo real para la red de distribución en una zona aislada. La plataforma puede utilizar varias ventajas de la computación en la nube, como almacenamiento escalable y recursos de computación para realizar el análisis de una manera rentable. El estudio propone una plataforma de monitoreo en la nube con supervisión desde la generación, transmisión y distribución de la energía.

La integración de sistemas IoT y plataformas cloud computing han permitido el desarrollo de varios trabajos relacionados al monitoreo de sistemas renovables. En [9], se presenta un sistema de monitoreo de bajo costo con el uso de una raspberry pi. El microcontrolador permite presentar los datos almacenados de forma gráfica. La raspberry pi sirve como interface de conexión de los sensores y una computadora donde se almacenan los datos para después ser presentados en forma gráfica.

Ecuador es uno de los países con mayor dependencia de las exportaciones de petróleo y derivados del mismo, el 89% de la energía primaria está asociada a la producción, exportación y refinación de petróleo [10]. En el futuro, el 90% de la energía primaria del Ecuador podría depender de un recurso que el país ya no dispondrá en un futuro no muy lejano. En el Ecuador, el sector con mayor consumo de energía es el transporte, con 43 millones de barriles equivalentes de petróleo. En el año 2015, el 4% del consumo total de energía final correspondió al sector transporte [11].

La implementación práctica de una estrategia sostenible de despetrolización del transporte significaría el inicio de una profunda transformación del modelo



energético actual, inherente a cualquier sociedad moderna. El transporte es uno de los problemas más acuciantes y críticos que deberán abordar los diferentes Estados – independientemente del nivel de desarrollo humano –, esto implica la elaboración e implementación de una estrategia integral a muy largo plazo de transformación del sistema de transporte de personas y mercancías, acoplado a un proceso de transformación del modelo energético. El peatón, el ciclista y el transporte público deben ser los elementos centrales de una estrategia integral de movilidad sostenible. Por esta razón, el uso de sistemas fotovoltaicos para proveer energía eléctrica a los vehículos adquiere especial importancia en los últimos años [12].

El desarrollo de sistemas de monitoreo de estaciones de cargas de vehículos eléctricos (VE) basados en sistemas fotovoltaicos no ha presentado un mayor interés años atrás. Sin embargo, la conexión de estaciones de carga a la red representa un gran reto para el rediseño de las redes eléctricas actuales. Es así, que se ha desarrollado un gran aporte científico en cuanto a sistemas de monitoreo remoto de estaciones de carga de vehículos eléctricos conectados a la red y aislados, los cuales se presentan en los siguientes párrafos.

En [13], se analizó el impacto de la carga vehicular, en diferentes sectores tales como los residenciales, comerciales e industriales mediante un sistema de supervisión y control de descarga. En el artículo se analiza la reducción de hasta el 90% de pérdidas por el mal funcionamiento de la instalación al incorporar un sistema de monitoreo. El sistema permite determinar los diferentes patrones de descarga de diferentes vehículos. En este artículo se integra un sistema de monitoreo de la demanda que generan los vehículos eléctricos a cada una de las instalaciones de carga. Este monitoreo de los sistemas de carga de vehículos eléctricos permite priorizar la carga a los vehículos que presentan el porcentaje más bajo de carga. El sistema está desarrollado en un entorno de programación con LabView, donde se puede importar los datos a MatLab y se procede a realizar el análisis de datos para posteriormente generar reportes.

En [14], se presenta el desarrollo de una herramienta para la gestión energética y la optimización de energía a partir de fuentes renovables en el Campus de la Universidad de Salento. La herramienta está diseñada para supervisar el estado de los vehículos conectados y la estación de recarga permitiendo gestionar la recarga en función de la predicción de la potencia de los paneles fotovoltaicos y el uso de energía eléctrica en tres edificios del Departamento de Ingeniería. La herramienta permite que el excedente de electricidad de la energía fotovoltaica se utilice para la recarga de los vehículos eléctricos. Se definen los beneficios en términos de CO<sub>2</sub> y los costos de la recarga programada con respecto a la recarga gratuita se evalúan sobre la base de los datos preliminares adquiridos en la primera

etapa de la campaña experimental.

En [15], se presenta un sistema de monitoreo de una estación de carga rápida de vehículos conectada a la red. En este sistema se realiza en monitoreo de la demanda generada por los vehículos eléctricos, así como la potencia de la red para la carga del vehículo eléctricos. Con los datos obtenidos de la generación y la potencia suministrada por la red se realiza un sistema de control la recarga rápida de los vehículos eléctricos evitando así el consumo excesivo desde la red.

En [16], se analiza la factibilidad de sistemas inalámbricos en el desarrollo de sistemas de monitoreo de estación de carga de vehículos eléctricos, dejando a un lado los tradicionales sistemas alámbricos o guiados. El poder disponer de datos como la ubicación de las estaciones de carga hace aún más atractivo el uso de sistemas inalámbricos. El mantener varios sistemas de carga monitoreados a través de un solo sistema es la propuesta más notable de este artículo. El sistema de monitoreo recolecta la información en tiempo real de la carga del vehículo y de la estación de carga y la envía mediante un concentrador de datos a una data center alojada en una estación de trabajo que monitorea todo el sistema.

Por último, en [17], se presenta un sistema de monitoreo de la estación de carga de vehículos eléctricos, conocida como electrolinera conectada a la red. El monitoreo se realiza tanto al sistema de carga como a su parqueadero con el objetivo de determinar la demanda de energía que debe satisfacer la estación de carga. El estudio permite tener la información necesaria para el desarrollo de sistemas con un mayor ajuste de demanda para el número de carros que se encuentran ha espera de una recarga en el estacionamiento.

En la revisión literaria de plataformas cloud de monitoreo del funcionamiento de una electrolinera solar fotovoltaica, realizados, no sé ha encontrado trabajos de gran relevancia. Sin embargo, uno de los aspectos más importantes del diseño y de la implementación de una electrolinera es la potencia instalada, debido a que es la que cubrirá la demanda de la carga de los vehículos eléctricos y por lo tanto el monitoreo de esta etapa del funcionamiento es de especial importancia. Por tal motivo, en los siguientes apartados, se presenta un sistema de monitoreo del funcionamiento de una instalación de carga basada en un sistema fotovoltaico instalada en los predios de Huachi de la Universidad Técnica de Ambato.

En el presente artículo se describe el desarrollo e implementación de una plataforma informática de monitoreo de una estación carga de vehículos eléctricos proporciona un sistema integrado de gestión energética y optimización de la energía obtenida de fuentes renovables en el Campus Huachi de la Universidad Técnica de Ambato. El artículo se estructura de la siguiente manera: En el apartado dos se presenta los



detalles y características del prototipo de electrolinera instalada en el campo Huachi de la Universidad Técnica de Ambato. En el apartado tres se presenta la estructura e instalación de la plataforma cloud de monitoreo del funcionamiento de la electrolinera. En cuarto apartado se describe los resultados de la implementación de la plataforma cloud de monitoreo, el sistema de comunicación y los reportes generados por la plataforma. Por último, se presentan las conclusiones a las que se ha llegado una vez validada la plataforma de monitoreo del funcionamiento de la electrolinera solar fotovoltaica.

## 2. IMPLEMENTACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA ELECTROLINERA

En la Fig. 1, se presenta de forma esquemática, los elementos que conforman la electrolinera solar aislada instalada en el campus de la UTA:

- Estructura metálica de soporte de los paneles.
- Sistema de conversión solar – paneles fotovoltaicos.
- Sistema de regulación, control y adaptación – regulador e inversor/cargador.
- Sistema de acumulación – baterías estacionarias.
- Estación de recarga eléctrica de vehículos. Los Trabajos Técnicos deberán cumplir con las siguientes recomendaciones generales:



Figura 1: Esquema general de la electrolinera solar aislada en la Universidad Técnica de Ambato.

### 2.1. Generador fotovoltaico

Los paneles fotovoltaicos se agrupan en dos subcampos solares fotovoltaicos independientes, colocados sobre la estructura metálica de soporte, que conforman la instalación fotovoltaica [18]. Cada subcampo solar fotovoltaico consta de 8 paneles fotovoltaicos SUNPOWER de la serie E20 de silicio monocristalino negro, conectados en serie-paralelo. La electrolinera se ubica en una zona especialmente asignada del aparcamiento al aire libre existente en el

campus Huachi de la UTA. El espacio asignado para la ubicación de la estructura metálica es propiedad de la universidad, evitando el pago de alquiler. En la Fig. 2, se presenta de forma esquemática la conexión de los paneles fotovoltaicos para cada campo fotovoltaico.

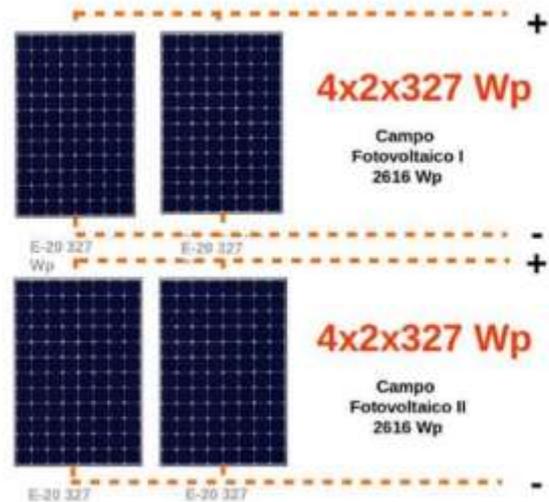


Figura 2: Conexión en paralelo de los paneles fotovoltaicos de los campos fotovoltaicos I y II, respectivamente.

Cada panel fotovoltaico puede suministrar una potencia pico igual a 327 Wp. Cada subcampo fotovoltaico dispone de una potencia total instalada igual a 2616 Wp, respectivamente. Por tanto, la instalación solar fotovoltaica dispone de una potencia pico total instalada de 5,232 kWp. Cada subcampo dispone de 4 strings de 2 paneles en serie. En la Fig. 3, se presenta de forma esquemática la distribución de los campos fotovoltaicos I y II sobre la estructura metálica.



Figura 3: Distribución de los subcampos fotovoltaicos I y II sobre la estructura metálica de soporte de la electrolinera solar

La inclinación y orientación de la estructura metálica de soporte presentan los valores óptimos adecuados para maximizar la producción en función de las condiciones geográficas y topográficas de la localización. El factor de las sombras existentes y el máximo aprovechamiento de la superficie han resultado los criterios más preponderantes en la selección de la orientación e

inclinación de la estructura metálica [19]. La eficiencia del panel fotovoltaico SUNPOWER serie E20 es igual 20,4 % que corresponde a los valores de eficiencia más elevados en el mercado de paneles fotovoltaico. La maximización de la producción de energía exige el empleo de paneles fotovoltaicos de alta eficiencia, puesto que la superficie disponible es limitada. La eficiencia de los paneles es un factor determinante en el precio final de la instalación fotovoltaica se presenta en la Fig. 4 [20].

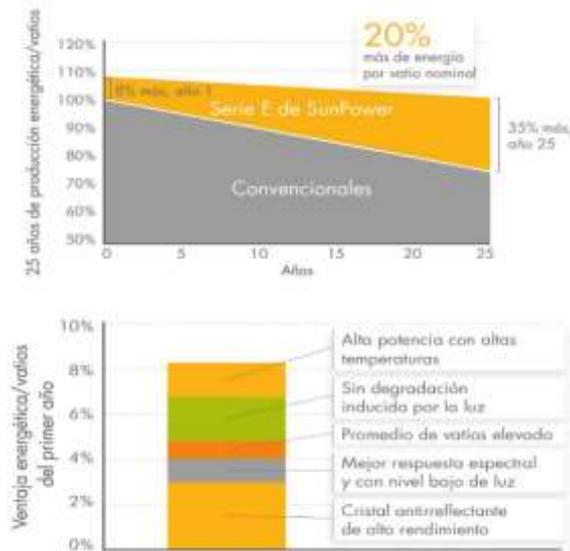


Figura 4: Comparativa de la producción de energía entre un panel fotovoltaico SUNPOWER y un panel fotovoltaico convencional [20].

Las dimensiones de los paneles fotovoltaicos son de 1,6 metros de largo y 1,05 metros de ancho. La superficie de 1,6 metros cuadrados es relativamente pequeña en comparación con varios modelos de otros fabricantes. El tamaño de los paneles es ideal para tejados y estructuras de reducidas dimensiones, puesto que permite optimizar al máximo la superficie disponible sobre los mismos. Los paneles fotovoltaicos seleccionados tienen un peso de 18,6 kilogramos frente a los 24-25 kilogramos que normalmente suelen pesar los paneles estándar con ese nivel de potencia eléctrica [20]. El peso de los paneles es de especial importancia para no sobrecargar la estructura metálica.

**2.2. Sistema de regulación, control y adaptación**

El sistema de regulación y conversión de energía de la instalación fotovoltaica se compone de un dispositivo que agrupa dos elementos en una solución integrada: regulador e inversor/cargador. En la Fig. 5, se presenta una representación del esquema básico del dispositivo inversor/regulador/cargador. Este dispositivo es adecuado para cubrir la demanda total de instalaciones aisladas como viviendas, granjas, refugios, etc., siendo de especial importancia para la electrolinera, en caso de realizar una ampliación e incluir una turbina eólica adicional de tamaño pequeño.

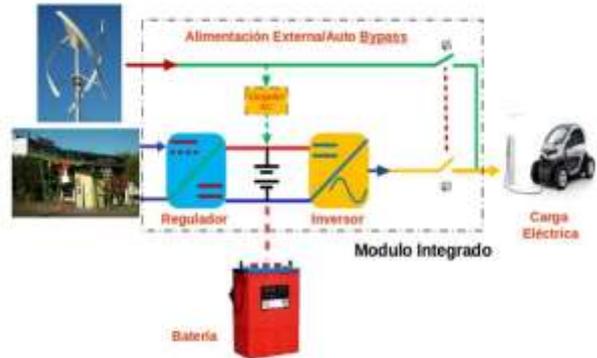


Figura 5: Esquema básico de un dispositivo Regulador e Inversor/Cargador de una instalación fotovoltaica aisladas.

La electrolinera aislada emplea dos dispositivos Regulador e Inversor/Cargador en una solución integrada denominada FLEXpower TWO del fabricante americano de equipamiento solar OutBack Power. El modelo del Regulador MPPT seleccionado se denomina FLEXmax80, en tanto, que el modelo del Inversor/Regulador elegido se denomina FXR 3048A.

La solución integrada FLEXpower TWO contiene los dispositivos Regulador e Inversor/Cargador seleccionados – FLEXmax80 y FXR 3048A –, respectivamente, y se han diseñado para su empleo en instalaciones solares aisladas que funcionen a una tensión de diseño de las baterías igual a 48 V DC.

El FLEXmax80, trabaja bajo la curva I-V característica de un panel fotovoltaico que varía en función de la temperatura y de la irradiación solar incidente, cambiando los modos de operación del entorno de trabajo, Fig. 6.

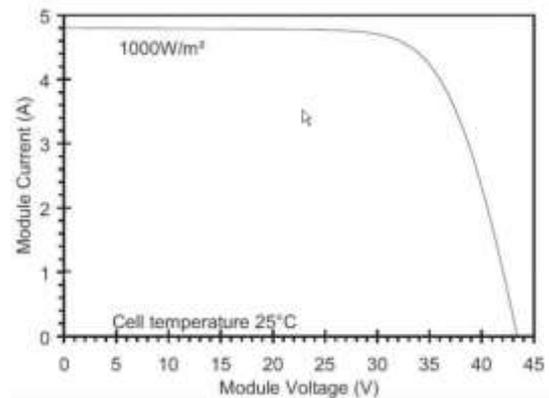


Figura 6. Curva V-I característica del panel fotovoltaico [21].

En la Fig. 7, se presentan los puntos de operación de los controladores de corriente con seguimiento del punto de máxima transferencia de potencia, MPPT, para garantizar un proceso de recarga eficiente y segura. El punto de máxima transferencia de potencia proporciona la mayor cantidad de energía del campo fotovoltaico para unas condiciones dadas de irradiación solar. El



trabajo del controlador de corriente es captar la mayor cantidad de energía durante el día, adaptando el funcionamiento del regulador en el proceso de absorción de los campos fotovoltaicos y de carga de la batería [21]. El regulador FLEXmax80 está configurado con dos etapas de regulación predeterminadas (absorción y flotación). El ciclo de absorción limita la potencia suministrada a la batería, por lo que el voltaje se mantiene constante. Este ciclo finaliza cuando pasan dos horas, límite predeterminado para el ciclo de absorción.

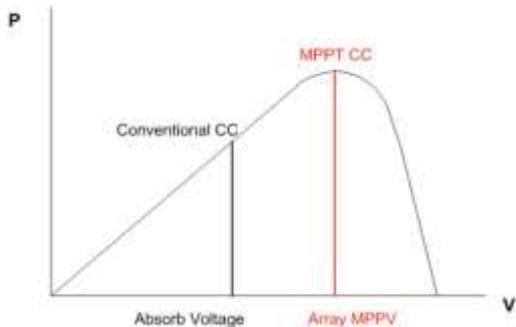


Figura 7. Puntos de operación del controlador de carga [30].

### 2.3. Sistema de acumulación de energía

En las instalaciones fotovoltaicas aisladas, los paneles solares instalados, se encuentran disponibles para la generación de electricidad. Sin embargo, la cantidad de radiación solar que reciben suele ser variable, sometida al ciclo diario de los días y noches, al ciclo anual de las estaciones y a la variación aleatoria del estado de la atmósfera con sus días claros, nublados, tormentas, etc [22].

El sistema de acumulación de energía para cada uno de los subcampos fotovoltaicos dispone de dos bloques con una conexión en serie de 8 baterías de 600Ah de capacidad y 6 voltios proporcionando una capacidad total de 600Ah y de 48V por cada bloque, Fig. 8.

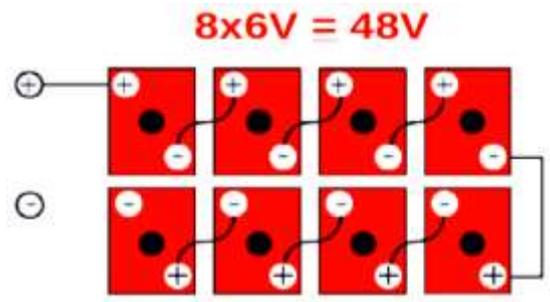


Figura 8: Esquema de la conexión en serie de las baterías de 6V para obtener un sistema de acumulación de 48V y 600Ah.

### 3. DISEÑO E INSTALACION DE PLATAFORMA CLOUD DE MONITOREO.

El Instituto Nacional de Estándares y Tecnología NIST, define la cloud computing como "Un modelo que permite el acceso a la red bajo la demanda a un conjunto compartido de recursos informáticos configurables (red, servidores, almacenamiento, aplicaciones, servicios) [23]. La cloud computing implica el seguimiento dinámico de los parámetros de calidad relacionados con recursos virtualizados (VM, almacenamiento, red, dispositivos, etc.), los recursos físicos que comparten, las aplicaciones que se ejecutan en ellos y los datos alojados [24]

La configuración de aplicaciones y recursos en el entorno de cloud computing es bastante difícil considerando la gran cantidad de recursos heterogéneos que presenta la computación en la nube. Además, se debe considerar el hecho de que, en un determinado momento, puede ser necesario cambiar la configuración del recurso en la nube para cumplir con aplicaciones de alta incertidumbre. Por lo tanto, las herramientas de monitoreo en la nube permiten disponer de una gran cantidad de información de forma directa y segura en varias plataformas informáticas. La cloud computing puede estar configurada de tres formas como se puede ver en la Fig. 9 [4].

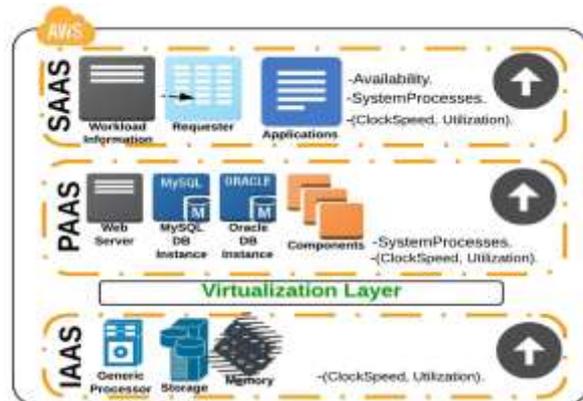


Figura 9: Componentes en capas de la plataforma de nube [4].

La plataforma instalada en la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial se basa en una arquitectura Open Stack, misma que cuenta con un sistema operativo en la nube que controla grandes grupos de recursos informáticos, de almacenamiento y de red. El sistema permite disponer de un único centro de datos para administrar y controlar la nube desde cualquier dispositivo con conexión a internet mediante un panel de control con interface web, Fig. 10. La nube se encuentra configurada como tipo SaaS (Software como Servicio) y permite procesar la información y presentarla de forma gerencial.

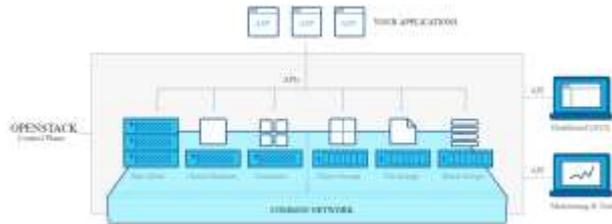


Figura 10: Arquitectura Open Stack instalada en la nube [24].

El uso de arquitectura de open Stack en la cloud fue determinada bajo el análisis de varios estudios desarrollados, los mismos que se presentan en [25],[26]. Una de las principales características de open Stack es que presenta tools de monitoreo lo que facilita el desarrollo de interfaces web para la presentación de gráficos. La topología de red de la plataforma de monitoreo se presenta en la Fig. 11.

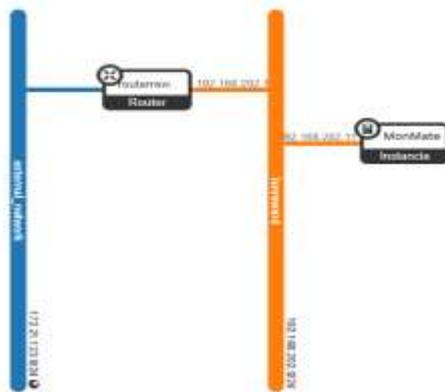


Figura 11. Topología de red de la plataforma de monitoreo.

#### 4. RESULTADOS DE LA PLATAFORMA CLOUD DE MONITOREO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA ELECTROLINERA

En la actualidad la electrolinera fotovoltaica se encuentra monitoreada a través de una plataforma cloud de software libre sobre una arquitectura Open Stack mediante una conexión inalámbrica que envía los datos por un sistema Xbee, nombre comercial de unos de los módulos de la familia comunicaciones basados en la tecnología ZigBee de Digi. La trama de datos se envía con una frecuencia de 1 segundo, tiempo establecido para sistemas de monitoreo en aplicaciones de Smart Grid [27]. La tecnología Xbee tiene un ancho de banda de 80 MHz con una cobertura máximo de 100 metros con una velocidad de transmisión de datos de 250 Kbps ideales para redes HAN [27]. La información es enviada mediante una trama (.csv) a través de un protocolo TC/IP a la nube. La información en bruto llega a la base de datos en la cual se realiza una limpieza mediante shell de Linux, mejorando sustancialmente la confiabilidad de los datos. La limpieza de datos permite analizar cada uno de los campos necesarios de la trama para de esta manera definir el correcto funcionamiento del sistema. El sistema de monitoreo procesa la

secuencia de datos, la reformatea para el registro y la creación de gráficos para la visualización en un servidor web.

El sistema de monitoreo está dividido en tres partes:

- Script Python que recibe y administra el flujo de datos del concentrador Mate3. En el programa se obtiene y procesa el flujo de datos para enviar el estado a un servidor web. Este script puede funcionar de forma independiente y mostrar el estado de los dispositivos en la línea de comandos.

- Scripts PHP para registros de bases de datos y consultas. Permite obtener los datos de la base de datos y devuelve una cadena json. Este script contiene parámetros de conexión de base de datos, intervalo de registro, token de seguridad y zona horaria.

- Página web HTML / JavaScript para representación visual del estado e historial de los dispositivos. Funciona con `getstatus.php` para el historial y con el `matelog` para el estado de "tiempo real".

La representación gráfica de voltaje y corriente de los paneles fotovoltaicos permiten analizar las características de funcionamiento de la electrolinera solar. Como se puede observar en la Fig. 12, la aplicación web programada en la plataforma cloud permite visualizar la entrada de corriente y voltaje de cada uno de los campos fotovoltaicos. Los datos de cada uno de los controladores de carga (FLEXmax 80) se presentan en color celeste y amarillo respectivamente. El regulador FLEXmax del puerto 5, representado por color amarillo, se enciende en las horas de mayor radiación para aprovechar la misma [29]. Asimismo, la curva de potencia característica de los paneles fotovoltaicos y las etapas de regulación para realizar la recarga de las baterías de forma rápida son presentadas.

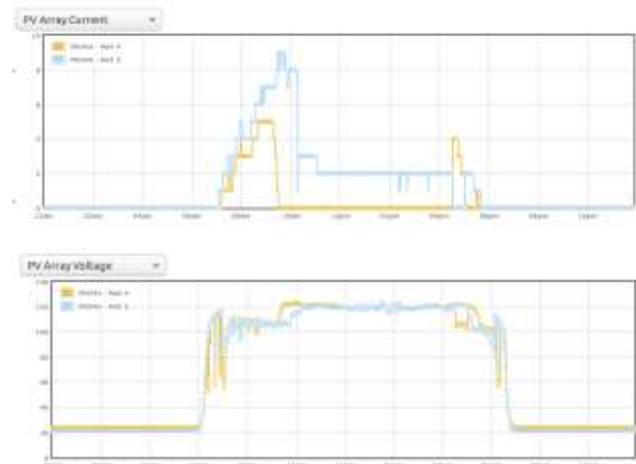


Figura 12. Datos de corriente y voltaje generados por los 2 campos fotovoltaicos.



En la Fig. 13, se observan las diversas características de carga que proporciona el regulador. El tiempo de absorción varía de acuerdo con el intervalo de ajuste de voltaje. El ciclo de flotación disminuye el voltaje de recarga evitando la sobrecarga de las baterías [32]. Este sistema de regulación permite aprovechar al máximo la recarga de las baterías alargando la vida útil de las mismas. Con los datos recolectados anteriormente se puede observar cómo trabaja cada uno de los inversores, la potencia solar captada de forma individual y total.



Figura 13. Potencia captada por los dos campos fotovoltaicos y etapas de funcionamiento de los reguladores

Cada regulador trabaja de manera individual permitiendo que no se sobre cargue la batería. La característica principal de estos controladores es realizar la carga en un tiempo adecuado sin recargar la batería prolongando la vida útil de las mismas.

## 5. CONCLUSIONES

La Plataforma Cloud implementada en la Universidad Técnica de Ambato, monitoriza el comportamiento de la electrolinera fotovoltaica, con una potencia instalada nominal de 6000 W y un potencial anual de generación de energía igual a 7112 kWh/año. La electrolinera cuenta con la capacidad para alimentar a dos pequeños vehículos eléctricos, con un consumo de energía de 6,1 kWh para una autonomía de 100 kilómetros, y algunas bicicletas eléctricas. El coste por kW instalado en la electrolinera fue de 6454,0 dólares y el precio estimado de la energía generada es equivalente a 25 c\$/kWh. La plataforma de monitoreo permite visualizar la generación de energía de forma diaria. El monitoreo del funcionamiento de la electrolinera permite disponer de datos en tiempo real de la carga del sistema comprobando el correcto funcionamiento de los reguladores y preservando la vida útil de las baterías del sistema. En el artículo se presenta los resultados obtenidos de las mediciones de la electrolinera del día 19 de mayo. La plataforma monitorea cada uno de los campos fotovoltaicos los mismos que disponen una potencia de 2616 Wp. Como se puede ver en los resultados del monitoreo realizado el día especificado el sistema entrega una tensión máxima de 120 voltios y una intensidad máxima de 13 amperios. Por otro lado, se puede ver que el voltaje sigue el patrón del sol, empezando a elevar su voltaje desde las 6 horas 30 hasta

las 18 horas 30 con una tensión máxima de 120 voltios a las doce horas del día.

La plataforma de monitoreo desarrollada permite ver el comportamiento de cada uno de los reguladores proporcionando datos del funcionamiento de carga del sistema, a diferencia de los sistemas comerciales que solo se basan en monitoreo de carga y descarga de los sistemas. La plataforma cumple con los estándares de medición en cuanto a tiempo de almacenamiento de los datos medidos según los estudios realizados en artículos referentes a sistemas de medición de Smart Grid. Analizando de forma más profunda el monitoreo de estos sistemas para la interconexión a la red y para la inclusión de vehículos eléctricos. La implementación de sistemas de monitoreo de hardware libre y software libre que cumplan los protocolos de comunicación utilizados en las Smart Grid. Además, la plataforma de monitoreo permite la visualización de los resultados en diferentes dispositivos móviles con un costo inferior a los sistemas de medición comerciales.

## 6. AGRADECIMIENTO

Los autores desean agradecer a la Dirección de Investigación y Desarrollo, DIDE, de la Universidad Técnica de Ambato por su especial apoyo en el desarrollo de la presente propuesta, gracias a la financiación del proyecto “Diseño e Implementación de un Sistema de Monitoreo Remoto para las Instalaciones Fotovoltaicas Aisladas de las Comunidades Amazónicas en el Ecuador”.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bakolas, B. V., Bauer, P., & Prins, D., “Testing of Smart Charging Controller for dynamic charging from solar panels”, In Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), 2014 IEEE (pp. 1-4). IEEE. 2014
- [2] A.T. Procopiou, L. F., “Voltage Control in PV-Rich LV Networks without Remote Monitoring”. IEEE Transactions on Power Systems, pag 1-12, 2016
- [3] Asma Triki-Lahiania Afef Bennani-Ben Abdelghani, I. S.-B., “Fault detection and monitoring systems for photovoltaic installations: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews”, pag 1-8, 2017.
- [4] Alhamazani, K. R. “An overview of the commercial cloud monitoring tools: research dimensions, design issues, and state of the art”. Computing, pag 357-377, 2016.
- [5] Morris Brenna, A. D. “Urban Scale Photovoltaic Charging Stations for Electric Vehicles”, IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE ENERGY, pag 1234-1242, 2014

- [6] J.D. Bastidas-Rodriguez, G. P.-P. “Photovoltaic modules diagnostic: an over”, View. In Industrial Electronics Society, IECON 2013-39th Annual Conference of the IEEE , pag 96-101, 2013.
- [7] Manzano, S. P., “ An Overview Of Remote Monitoring PV Systems: Acquisition, Storages, Processing And Publication Of Real-Time Data Based On Cloud Computing”, In 13Th International Workshop on Large-Scale Integration of Wind Power into Power Systems as well as on Transmission Networks for Offshore Wind Power Plants & 4th Solar Integration Workshop which will be held from, 2014
- [8] Li, C. S., “Secured real-time impact monitoring system for integrating solar PV in distribution network”, In Region 10 Conference (TENCON), pag 447-450, 2016.
- [9] Othman, N. A., “Remote Monitoring System Development via Raspberry- Pi for Small Scale Standalone PV Plant”, In Control System, Computing and Engineering (ICCSCE), ag 360-365, 2017.
- [10] Paúl Vásquez., “Plan Maestro de Electrificación 2012-2025”, Quito: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2015.
- [11] Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos., Balance Energético Nacional. Quito., 2015
- [12] Bhatti, A. R., “Electric vehicles charging using photovoltaic: Status and technological review”. Renewable and Sustainable Energy Reviews, pag 34-47, 2016.
- [13] Jewell, N. T. “Analysis of forecasting algorithms for minimization of electric demand costs for electric vehicle charging in commercial and industrial environments”, Transportation Electrification Conference and Expo, pag 1-6, 2016.
- [14] Donateo, T. C., “An integrated tool to monitor renewable energy flows and optimize the recharge of a fleet of plug-in electric vehicles in the campus of the University of Salento: Preliminary results”, IFAC Proceedings , pag 7861-7866, 2016.
- [15] Sbordone, D. B. (2015). EV fast charging stations and energy storage technologies: A real implementation in the smart micro grid paradigm. . Electric Power Systems Research, pag 96-108, 2017.
- [16] Yang Xiaodong, L. X., “An Application-Specific WSN Routing Protocol for EV Charging Piles Management System”, Proceedings of the 34th Chinese Control Conference, pag 7651-7658, 2015.
- [17] Bonges III, H. A., “Addressing electric vehicle (EV) sales and range anxiety through parking layout, policy and regulation”, Transportation Research Part A: Policy and Practice, pag 63-73, 2016.
- [18] Bhatti, A. R., Salam, Z., Abdul, M. J. B., & Yee, K. P. (2016). A comprehensive overview of electric vehicle charging using renewable energy. International Journal of Power Electronics and Drive Systems, 7(1), 114.
- [19] Gamboa, G., Hamilton, C., Kerley, R., Elmes, S., Arias, A., Shen, J., & Batarseh, I., “Control strategy of a multi-port, grid connected, direct-DC PV charging station for plug-in electric vehicles”, In Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2010 IEEE (pp. 1173-1177).
- [20] «Residential Power Paneles Datasheet,» Coporation, SOUNPOWER, Silicon Valley, 2017.
- [21] OutBack Power Systems, FLEXmax 60 y FLEXmax 80, Manual del usuario, Estados Unidos de America, Febrero 2018, Disponible en:outbackpower.com/downloads/documents/charge\_controllers/flexmax\_6080/
- [22] Lagorse, J., Paire, D., & Miraoui, A., “Sizing optimization of a stand-alone street lighting system powered by a hybrid system using fuel cell, PV and battery”, Renewable Energy, 34(3), 683-691, 2015
- [23] Mell, P. &., “The NIST definition of cloud computing”, 2010
- [24] Atzori, L. G., “A network-oriented survey and open issues in cloud computing”. Cloud Computing: Methodology, Systems, and Applications, pag 91-108, 2011.
- [25] Openstack.org is powered by Rackspace Cloud Computing, Whats is OpenStack, enero 2018, Available. <https://openstack.org/software/>.
- [26] Guamán, J., Guevara, D., Vargas, C., Ríos, A., & Nogales, R.. “Solar Manager: Acquisition, Treatment and Isolated Photovoltaic System Information Visualization Cloud Platform”, International Journal of Renewable Energy Research, pag 214-223, 2017.
- [27] Carlos, V. J. Guamán, J., Guevara, Ríos, A., “Sistema de Iluminación Fotovoltaico en el Alumbrado Público Gestionado a través de una Plataforma Cloud/GIS”. Revista Politécnica, pag 59-66,2017.
- [28] Gungor, V. C., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., Cecati, C., & Hancke, G. P., “Smart grid technologies: Communication technologies and standards”, IEEE transactions on Industrial



informatics, pag 529-539, 2011

- [29] Chen, S. Y., Song, S. F., Li, L. X., & Shen, J., “Survey on smart grid technology”, Power system technology, 8, 1-7, 2009
- [30] Bombardier Shaw, J. A., & Moradpour, A. F., “Solar Powered Electric Vehicle Charger”, 2009.
- [31] Chen, N., Wang, M., & Shen, X. S, Optimal PV sizing scheme for the PV-integrated fast charging station. In Wireless Communications & Signal Processing (WCSP), 2016 8th International Conference on, pp. 1-6, IEEE 2016
- [32] Nyende, S., Conroy, A., Opoka, R. O., Namasopo, S., Kain, K. C., Mpimbaza, A., ... & Hawkes, M. (2015). Solar-powered oxygen delivery: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*, 16(1), 297.



**Ruben Nogales Portero.-** Nació en Ambato, Ecuador en 1973. Recibió su título de Ingeniero en Sistemas Computacionales e Informáticos en la Pontificia Universidad Católica sede Ambato. En 2014 obtuvo su título de Magister en Redes y

Telecomunicaciones en la Universidad Técnica de Ambato. Es docente investigador de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónico y Industrial de la Universidad Técnica de Ambato. Actualmente se encuentra realizando sus estudios doctorales en Informática en la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador



**Jesús Guamán Molina.-** Nació en Latacunga, Ecuador en 1990. Recibió su título de Ingeniero Electrónico y Comunicaciones de la Universidad Técnica de Ambato en el año 2015. Es Investigador en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e

Industrial de la Universidad Técnica de Ambato. Actualmente se encuentra cursando sus estudios de posgrado en el Escuela Politécnica Nacional en la Maestría de Energía Eléctrica mención Smart Grid.



**Carlos Vargas Guevara.-** Nació en Ambato, Ecuador en 1991. Recibió su título de Ingeniero Electrónico y Comunicaciones de la Universidad Técnica de Ambato en el año 2015. Es Investigador en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e

Industrial de la Universidad Técnica de Ambato.

Actualmente se encuentra cursando sus estudios de posgrado en el Escuela Politécnica Nacional en la Maestría de Energía Eléctrica mención Smart Grid.



**Alberto Ríos Villacorta.**

Ingeniero Eléctrico en Sistemas y Redes Eléctricas por el Instituto Politécnico de Bielorrusia, 1993. Master en Energías Renovables por la Universidad Europea de Madrid, 2004. Dr. Ingeniero Eléctrico por la Universidad Carlos III de Madrid, 2007.

Profesor Ayudante de la Universidad Carlos III de Madrid, 1998-2001. Profesor Adjunto de la Universidad Europea de Madrid, 2001-2014. Director Técnico de Energy to Quality, Laboratorio de Ensayos de Turbinas Eólicas y Simulaciones de parques Eólicos, 2005-2006. Director del Máster Oficial de Energías Renovables de la Universidad Europea de Madrid, 2007-2011. Actualmente es profesor principal de la Universidad Técnica de Ambato en la facultad de Ingeniería en sistemas electrónica e Industrial