

Plataforma Cloud para monitoreo remoto de sistemas fotovoltaicos aislados en el Ecuador

Santiago Manzano, Raúl Peña-Ortiz, David Guevara, Alberto Ríos

Universidad Técnica de Ambato, Av. Los Chasquis y Río Payamino, Ambato, Ecuador, 180102.

Autores de correspondencia: {victorsmanzano,ra.pena,dguevara,a.rios}@uta.edu.ec

Fecha de recepción: 21 de septiembre de 2014 - Fecha de aceptación: 17 de octubre de 2014

RESUMEN

Los sistemas fotovoltaicos son fuentes emergentes de energías renovables que generan electricidad a partir de la radiación solar. El monitoreo de los sistemas fotovoltaicos aislados proporciona información necesaria que permite a sus propietarios mantener, operar y controlar estos sistemas, reduciendo los costes de operación y evitando indeseadas interrupciones en el suministro eléctrico de zonas aisladas. En este artículo, se propone el desarrollo de una plataforma para el monitoreo de sistemas fotovoltaicos aislados en el Ecuador con el objetivo fundamental de desarrollar una solución escalable, basada en el uso de software libre, en el empleo de sensores de bajo consumo y en el desarrollo de servicios web en la modalidad 'Software as a Service' (SaaS) para el procesamiento, gestión y publicación de información registrada y la creación de un innovador centro de control solar fotovoltaico en el Ecuador.

Palabras clave: Servicios Cloud, monitoreo remoto, sistemas fotovoltaicos.

ABSTRACT

Photovoltaic systems are typical renewable energy sources that generate electricity from solar radiation. Monitoring isolated PV systems is necessary to provide information that allows their holders to maintain, operate and control these systems, reducing installations costs and avoiding unwanted electric power disruptions in isolated areas. This paper propose a development of cloud-based platform for monitoring the isolated PV systems in Ecuador with the aim of develop an extreme scalable solution based on open source software, low consumption wireless sensors, and 'Software as a Service' (SaaS) paradigm to process, manage and publish the information for a Ecuadorian solar control center.

Keywords: Cloud services, monitoring, photovoltaic systems.

1. INTRODUCCIÓN

Las fuentes de energías renovables son consideradas como una importante alternativa por la significativa contribución al suministro sostenible de energía en el mundo. La energía fotovoltaica genera electricidad a partir de la radiación solar y es una de las tecnologías renovables más emergentes, debido a sus continuos avances tecnológicos y la reducción de sus precios.

El Plan Nacional del Buen Vivir (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo de la República de Ecuador, 2013), Plan Nacional de Desarrollo del Ecuador, pretende transformar la matriz energética del Ecuador con ayuda de políticas de promoción y líneas estratégicas que permitan aumentar la participación de energías renovables y disminuir las emisiones de efecto invernadero. En este sentido, un significativo número de sistemas fotovoltaicos se instalarán en el país, gracias a las medidas de promoción iniciadas por el actual gobierno del Ecuador.

En Ecuador, existe un importante número de sistemas fotovoltaicos aislados instalados en diferentes provincias del país. Gracias al Programa Euro-Solar (2014) existen casi 100 instalaciones fotovoltaicas aisladas en diferentes provincias del Ecuador a inicios del año 2014.

El programa Euro-Solar beneficia a las provincias del Guayas, Esmeralda, Orellana, Napo, Pastaza y Morona Santiago. El programa consiste en la entrega de una torre metálica que soporta 7 paneles fotovoltaicos con una potencia instalada total de 1100 W y equipamiento para acceso a servicios de telecomunicaciones. El programa Euro-Solar entrega a cada comunidad 5 computadoras, un proyector y una impresora multifunción. En la Fig. 1, se muestra un esquema básico de la instalación fotovoltaica propuesta dentro del programa Euro-Solar (EURO-SOLAR, 2009).

Asimismo, desde enero del 2013 funciona en Paragachi, Imbabura, la primera gran instalación solar fotovoltaica conectada al sistema eléctrico ecuatoriano (Zigor Corporación, 2013). La instalación fotovoltaica conectada a la red convencional consta de 4160 paneles solares con una potencia instalada total de 998 kW. La primera instalación fotovoltaica en el Ecuador conectada a red exigió una inversión de más de dos millones de dólares financiados por el Banco del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (BIESS).

La inexistencia de un sistema de monitoreo de las instalaciones fotovoltaicas existentes en el Ecuador puede conducir a la reducción de la energía eléctrica suministrada a los usuarios en zonas aisladas, a interrupciones imprevistas e incluso a la salida forzada del funcionamiento de los sistemas solares, provocando la incomodidad e insatisfacción de los usuarios así como la reducción de la producción de energía eléctrica inyectada a la red eléctrica del Ecuador, en el caso instalaciones conectadas al sistema eléctrico del Ecuador.

Por otro lado, entre las ventajas de contar con un sistema de monitoreo fotovoltaico destacan:

- Permitir a los titulares de la instalación fotovoltaica disponer de información en tiempo real del funcionamiento de paneles, baterías, reguladores e inversores y de datos reales de las diversas magnitudes que permitan conocer y evaluar el comportamiento de las instalaciones fotovoltaicas.

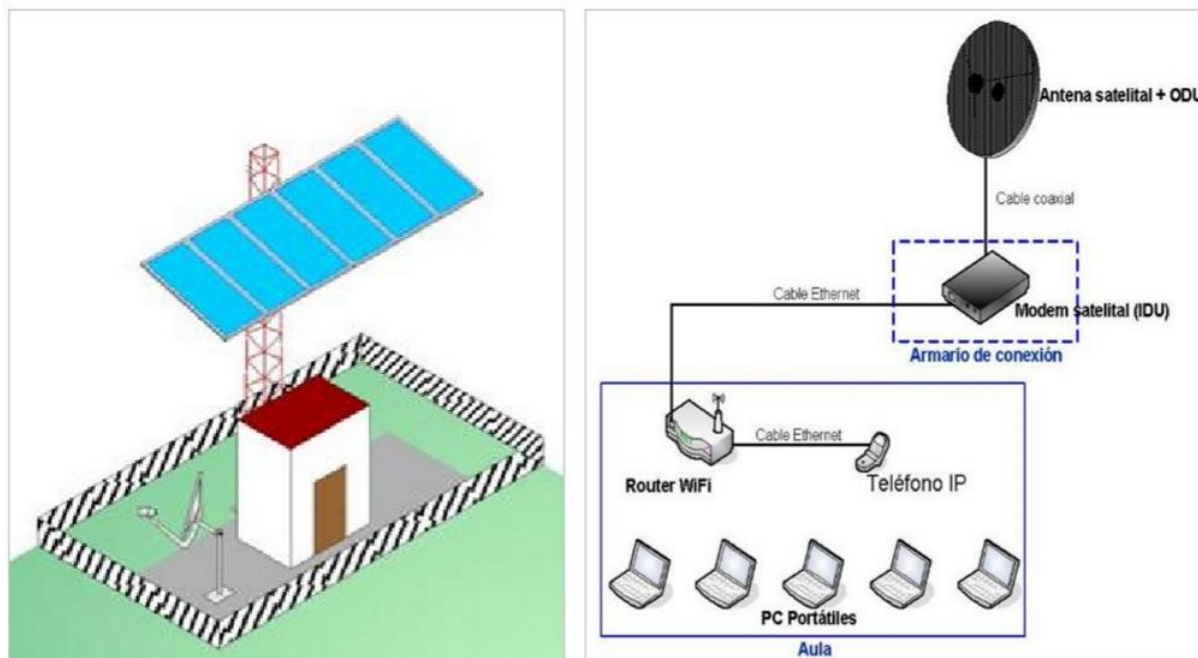


Figura 1. Esquema básico de programa fotovoltaico Euro-Solar (EURO-SOLAR, 2009).

- Identificar rápidamente la aparición de anomalías y averías asociadas con la operación de sistemas fotovoltaicos y prevenir la ocurrencia de interrupciones imprevistas del suministro eléctrico a los usuarios.

- Disponer de la información adecuada para comparar el funcionamiento real de la instalación fotovoltaica con simulaciones obtenidas a partir de modelos matemáticos de las instalaciones fotovoltaicas.
- Proceder a la auto-reparación de los problemas e inconvenientes en el sistema fotovoltaico a través de un software automatizado.
- Desarrollar entornos de visualización de las magnitudes registradas en tiempo real y de las series históricas de datos registrados del funcionamiento de la instalación fotovoltaica.
- Disponer de sistemas de almacenamiento y recuperación de la información histórica y en tiempo real de las instalaciones fotovoltaicas.
- Posibilidad de acceder a la información de funcionamiento de la instalación desde internet por niveles y/o roles y a través de entornos amigables, atractivos y personalizados y de fácil manejo.
- Centralizar la información obtenida de las instalaciones fotovoltaicas en un 'Centro de Control Fotovoltaico' que permita adoptar las adecuadas medidas predictivas, preventivas y correctivas así como la generación de avisos y/o alarmas en función de la información obtenida en tiempo real del funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos.
- Realizar informes periódicos (horarios, diarios, semanales, quincenales, mensuales, trimestrales, semestrales y anuales) del seguimiento del comportamiento de las instalaciones fotovoltaicas.

En resumen, es imprescindible la implementación de sistema de monitoreo de las diferentes magnitudes y parámetros, medidos en paneles, baterías, reguladores e inversores, que permita a los titulares de la instalación disponer de información necesaria para el mantenimiento, operación y control de las instalaciones fotovoltaicas. La información obtenida permitirá reducir los costes asociados a la explotación de los sistemas fotovoltaicos aislados y evitar indeseadas interrupciones del suministro eléctrico en zonas aisladas.

En el actual entorno tecnológico, donde la presencia de servicios y aplicaciones de redes es muy importante y el volumen de datos intercambiados es realmente enorme, las plataformas de cloud computing son, en la actualidad, la mejor solución para suministrar servicios web y almacenar un gran volumen de información con un razonable valor de accesibilidad, escalabilidad y fiabilidad (Armbrust *et al.*, 2010). Por este motivo, cada vez más compañías optan por este modelo de servicio y ofrecen sus aplicaciones y servicios web. Estas compañías alquilan una infraestructura virtual de acuerdo a sus necesidades y circunstancias de negocio, transformando los costos fijos de inversión en costos variables (Bayrak, 2011). Este cambio en el modelo económico tiene un importante efecto en el precio de acceso a la tecnología de cloud computing para las empresas, especialmente para las medianas y pequeñas empresas (Etro, 2009).

En este contexto, el principal objetivo del artículo es proponer la creación de una plataforma eficiente y escalable de cloud computing para el monitoreo instalaciones fotovoltaicas aisladas del Ecuador. La propuesta adopta la tecnología cloud computing para cumplir las exigencias de monitoreo de instalaciones solares, proporcionando los servicios web que garantizan la accesibilidad, escalabilidad y fiabilidad de la plataforma, y adoptar un modelo de servicio que permita ajustar los costos económicos.

El artículo está organizado de la siguiente manera: en la Sección 2 se revisa el estado del arte de los sistemas de monitoreo de las instalaciones fotovoltaicas. La arquitectura de la plataforma de monitoreo se presenta en la Sección 3. La Sección 4 describe las experiencias más destacables en sistemas remotos de monitoreo. Después, en la Sección 5, se presenta una breve descripción de los resultados esperados. Finalmente, el artículo concluye con un breve resumen de la propuesta y una visión del trabajo futuro en la Sección 6.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, existe una gran variedad de sistemas comerciales de monitoreo tanto para pequeñas instalaciones fotovoltaicas como para grandes sistemas fotovoltaicos conectados a red. Un sistema remoto de monitoreo consiste en un conjunto de sensores que registran datos meteorológicos y

magnitudes físicas y eléctricas de los diferentes elementos que componen las instalaciones fotovoltaicas. El registro de los datos medidos por los sensores se realiza en un dispositivo electrónico denominado Data Logger, que posteriormente traslada la información a un centro de gestión y procesamiento de datos en Internet (Fig. 2).

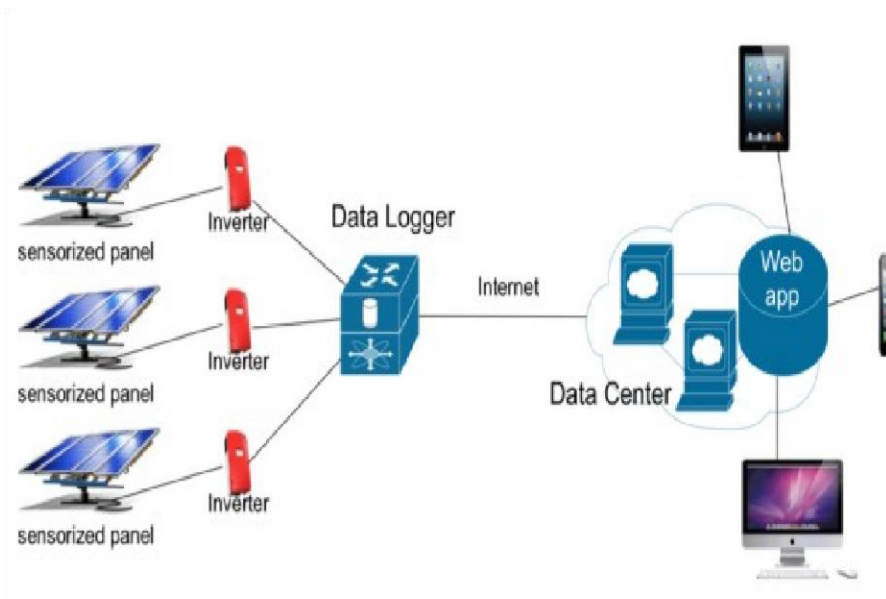


Figura 2. Esquema de monitoreo remoto de sistemas fotovoltaicos.

Algunas compañías ofrecen soluciones tecnológicas comerciales de monitoreo remoto entre las que destacan SMA Solar Technologies, Fronius International GmbH, inAccess Networks, Fat Spaniel Technologies, Morningstar Corporation, SolarMax, (Meteocontrol Ibérica, 2013; Danfoss Solar Inverters A/S., 2013; SMA Ibérica Tecnología Solar, 2013) entre otras. Estas herramientas comerciales permiten visualizar de manera comprensible y amigable los fenómenos transitorios y la evolución histórica de los parámetros de funcionamiento de las instalaciones fotovoltaicas, usualmente a través de una aplicación web que puede ofrecerse en modalidad 'Software as a Service' (SaaS). Además, algunas aplicaciones más avanzadas proporcionan servicios como alarmas y notificaciones por e-mail o SMS ante averías o ante condiciones específicas de funcionamiento.

Sin embargo, las mencionadas soluciones tecnológicas comerciales presentan los siguientes inconvenientes (Martínez *et al.*, 2010; Andreoni *et al.*, 2012):

- Considerable consumo de energía solar por los dispositivos de medición y dispositivos de registro de los datos.
- Elevada necesidad de los requerimientos de capacidad de almacenamiento en función de la frecuencia de registro de datos y almacenamiento en memoria de las series históricas de datos.
- Los fabricantes solares suministran, junto con el inversor, un software específico para la monitorización de la instalación fotovoltaica. Además, al ser un software que no permite acceso al código fuente de programación, difícilmente se podrá adaptar de forma adecuada a los requerimientos exigidos para cada instalación, impidiendo añadir nuevas funcionalidades o características al mismo, como realizar evaluaciones particularizadas del funcionamiento o previsiones de la producción en las instalaciones fotovoltaicas.

3. EXPERIENCIAS EXISTENTES

Existen experiencias muy interesantes en el monitoreo remoto de instalaciones fotovoltaicas, entre las más destacables se tienen:

- En el año 2002, la Universidad Pontificia de Comillas de Madrid desarrolló un sistema para la monitorización y difusión en Internet del funcionamiento de la central solar fotovoltaica existente a través de un equipo de captura y una aplicación web para el almacenamiento y publicación de los datos. La propuesta realizada utiliza el software que le proporciona el fabricante del inversor para la adquisición de datos por lo que no se puede tener control de todas las variables a medir y genera dependencia del fabricante para la monitorización (Riesco *et al.*, 2002).
- En el año 2010, la Universidad de New York desarrolló el proyecto SIMbalink Project con el objeto de proporcionar un sistema de monitorización remoto de las instalaciones fotovoltaicas aisladas de bajo coste. SIMbaLink suministra información de interés sobre el estado de descarga de la batería y empleo del uso diario. Los datos se transmiten a través de telefonía móvil al personal cualificado para realizar el diagnóstico oportuno sobre el funcionamiento de las instalaciones fotovoltaicas y adaptar las medidas correctivas necesarias (Schelling *et al.*, 2010). Sin embargo, la innovación propuesta sólo proporciona información en algunos momentos del día. Por tanto no presenta la suficiente información para realizar un adecuado seguimiento del comportamiento de la instalación fotovoltaica y detectar las averías durante la operación de la misma.
- En el año 2011, en África, la Escuela Politécnica de Malawi desarrolló un sistema para el monitoreo remoto inalámbrico para la instalación fotovoltaica de la escuela rural Primaria de Malawi (Nkoloma *et al.*, 2011). Por medio de sensores inalámbricos y mensajes de texto a través de la red celular basado en FrontlineSMS, Waspote y el desarrollo de una aplicación web, basada en PHP y MySQL, para la gestión y publicación de los datos medidos. El monitoreo propuesto por la politécnica de Malawi utiliza tecnología GSM para la transmisión de datos de las variables a medir del sistema fotovoltaico, sin embargo, en el caso de las instalaciones fotovoltaicas pertenecientes al Proyecto Euro-Solar no existe una red celular por lo que no se podrá utilizar este sistema.
- En el año 2012, la compañía coreana Hex Power System propuso un sistema de monitoreo móvil basado en servicios web (Ryu *et al.*, 2012). El sistema recoge información empleando sensores inalámbricos, coordinados por un inversor. Los datos registrados son transferidos a un servidor central a través de un servidor web. El desarrollo de una aplicación específica, ubicada en el servidor, gestiona el sistema fotovoltaico en cualquier momento y desde cualquier lugar.
- En el año 2014, en España, la Universidad de Oviedo desarrolló una red de sensores inalámbricos (WSN), adecuada para su inclusión en las plantas fotovoltaicas con el fin de mejorar la eficiencia y optimizar la producción de energía. Esto se logra mediante el desarrollo de nodos de sensores inteligentes conectados a cada panel fotovoltaico en la planta y la definición de un protocolo de comunicación que tiene éxito en la toma de toda la información relativa a los paneles para un Centro de Control. Los sensores colocados en cada panel se suministran energía de los propios paneles solares. Una aplicación de MATLAB se ha desarrollado para recoger los datos de cada panel fotovoltaico (Prieto *et al.*, 2014). Esta alternativa de establecer una red de sensores se puede tomar como base para la adquisición de datos de los paneles solares, la forma de transmitir los datos al nodo central está limitada por la distancia y la manera de presentar esta información se ve condicionada al utilizar una aplicación de pago.
- En el año 2014, en Corea del Sur, la Universidad Nacional de Andong, ha propuesto un sistema de monitoreo de PV utilizando XML. El sistema propuesto está diseñado para permitir al usuario monitorear en tiempo real la información del sistema fotovoltaico de manera estructurada y analizar los datos transmitidos a través de la Web. (Lim & Lim, 2014) En este artículo no se indica la forma como se realizará la adquisición de datos del sistema fotovoltaico. Sin embargo en el presente proyecto se podría combinar XML con PHP.

Estas deficiencias motivan la presente propuesta de implementación de una plataforma de cloud computing para el monitoreo de sistemas fotovoltaicos aislados en Ecuador con el objetivo de desarrollar una solución escalable, basado en software de software libre, en el empleo de sensores inalámbricos de bajo consumo, y en el desarrollo de servicios web en la modalidad ‘SaaS’ para el

procesamiento, gestión y publicación de la información registrada y la creación de un innovador centro de control solar fotovoltaico en el Ecuador.

4. ARQUITECTURA DE MONITOREO

La implementación práctica del Programa Euro-Solar en el Ecuador implica la instalación de decenas de sistemas fotovoltaicos aislados en diferentes provincias del país. Asimismo, existen mecanismos económicos que promocionan la instalación de sistemas de generación eléctrica basados en recursos energéticos renovables. Por tanto, se espera que en los próximos años se incremente el número de instalaciones fotovoltaicas conectadas al sistema eléctrico ecuatoriano.

El monitoreo remoto de las instalaciones fotovoltaicas del Ecuador permitirá obtener información en tiempo real de estas instalaciones y reducir los costes asociados a la explotación de los sistemas fotovoltaicos y evitar indeseadas interrupciones del suministro eléctrico o reducción de la energía eléctrica suministrada a la red eléctrica nacional. La obtención de datos reales de los sistemas fotovoltaicos permitirá actuar rápidamente ante averías, interrupciones y fallas de cualquier componente de las instalaciones fotovoltaicas.

La información obtenida en tiempo real de los sensores, instalados en diferentes componentes de la instalación fotovoltaica, permitirá evaluar y analizar el comportamiento de los sistemas fotovoltaicos en función de parámetros y magnitudes de referencia inherentes a estas instalaciones. La gestión de la información obtenida se reflejará en la presentación de informes diarios, semanales, mensuales, trimestrales, semestrales y anuales. Los informes periódicos bajo la modalidad SaaS podrían ser una de las funcionalidades básicas del futuro centro de control solar del Ecuador (Fig. 3).

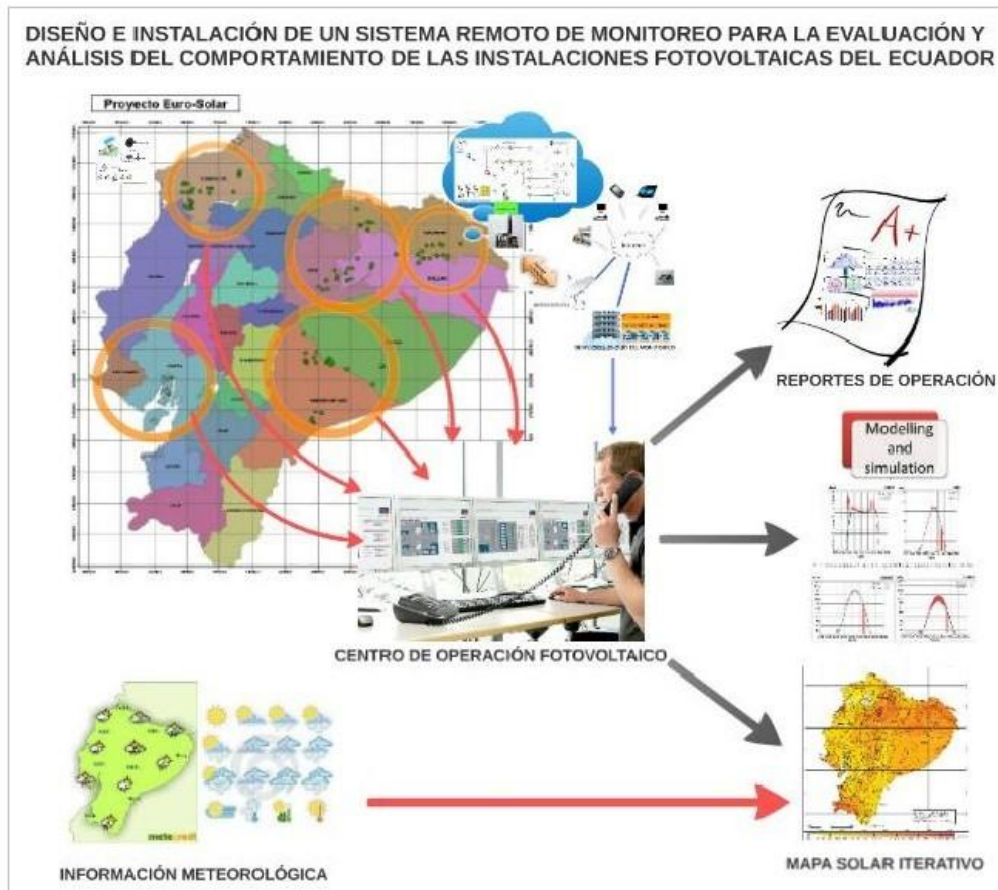


Figura 3. Centro de control de sistemas fotovoltaicos en el Ecuador.

El tratamiento y gestión de información obtenida permitirá la presentación de los correspondientes informes de operación y mantenimiento. La información de las instalaciones fotovoltaicas se podrá trasladar a los titulares de las instalaciones, operador del sistema, usuarios y público en general a través de plataformas informáticas y a las cuales se podrá acceder desde diversos dispositivos (ordenadores de escritorio, laptops, smartphones, tablets, etc.).

La experiencia adquirida en el monitoreo de las instalaciones fotovoltaicas aisladas permitirá trasladar la tecnología de procesamiento y programación de la información desarrollada en el proyecto a grandes sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica nacional.

En el caso de instalaciones conectadas a red, el operador del sistema eléctrico dispondrá de la información necesaria para garantizar la participación de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red convencional en los servicios de regulación y control inherentes al funcionamiento de los sistemas eléctricos. Asimismo, la monitorización de los sistemas fotovoltaicos tanto aislados como conectados a red permitirá disponer de datos para el modelado, simulación y predicción de la potencia y energía generada en los puntos de conexión a red y en las zonas aisladas así como para la elaboración de mapas solares iterativos de las zonas de localización de las instalaciones fotovoltaicas.

En resumen, hay tres exigencias que motivan el diseño de una plataforma de monitoreo basada en una arquitectura cloud:

- La necesidad de escalabilidad extrema del sistema.
- El enorme volumen de información registrada que es necesaria almacenar, procesar y publicar.
- Un conjunto de aplicaciones y servicios web que proporcionen a un centro de control solar fotovoltaico de innovadoras funcionalidades en la modalidad 'SaaS'.

5. FASES DE LA PROPUESTA

El actual gobierno del Ecuador tiene como uno de sus ejes principales de desarrollo la transformación de la matriz energética. En el Plan del Buen Vivir, en el numeral 7.7 dentro de las políticas y lineamientos estratégicos asociado a la promoción de la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles como medida de prevención de la contaminación ambiental se establecen las siguientes acciones (Riesco *et al.*, 2002):

- Implementar tecnologías, infraestructuras y esquemas tarifarios, para promover el ahorro y la eficiencia energética en los diferentes sectores de la economía.
- Promover investigaciones para el uso y la generación de energías alternativas renovables, bajo parámetros de sustentabilidad en su aprovechamiento.

La presente propuesta de monitorización se ajusta a las políticas y lineamientos estratégicos especificados en el Plan del Buen Vivir 2013-2017.

La primera fase de la propuesta consiste en la implementación de una instalación fotovoltaica tipo Euro-Solar, que permita reproducir las características técnicas de los sistemas fotovoltaicos aislados, instalados bajo el programa Euro-Solar, en el Campus de la Universidad Técnica de Ambato. Por tanto, en la primera fase se deberán abordar las siguientes tareas:

- Proceder a la redacción de la memoria técnica y el pliego de condiciones técnicas de una instalación fotovoltaica semejante a las instalaciones del Programa Euro-Solar.
- Definir los términos de referencia del proceso de licitación para la construcción de la torre de soporte de los paneles fotovoltaicos, montaje del sistema fotovoltaico y puesta en marcha de la instalación fotovoltaica en el Campus Huachi de la Universidad Técnica de Ambato.

En la segunda fase se deberá proceder al diseño e instalación del sistema remoto de monitorización. En la Fig. 4, se presenta un esquema básico del sistema inalámbrico de monitoreo propuesto. En la mencionada figura se observa el esquema unifilar de la instalación fotovoltaica con los sensores meteorológicos y sensores de magnitudes eléctricas de los diferentes componentes del

sistema fotovoltaico. La transmisión de los datos registrados se realiza a través de la tecnología inalámbrica de transmisión de información.

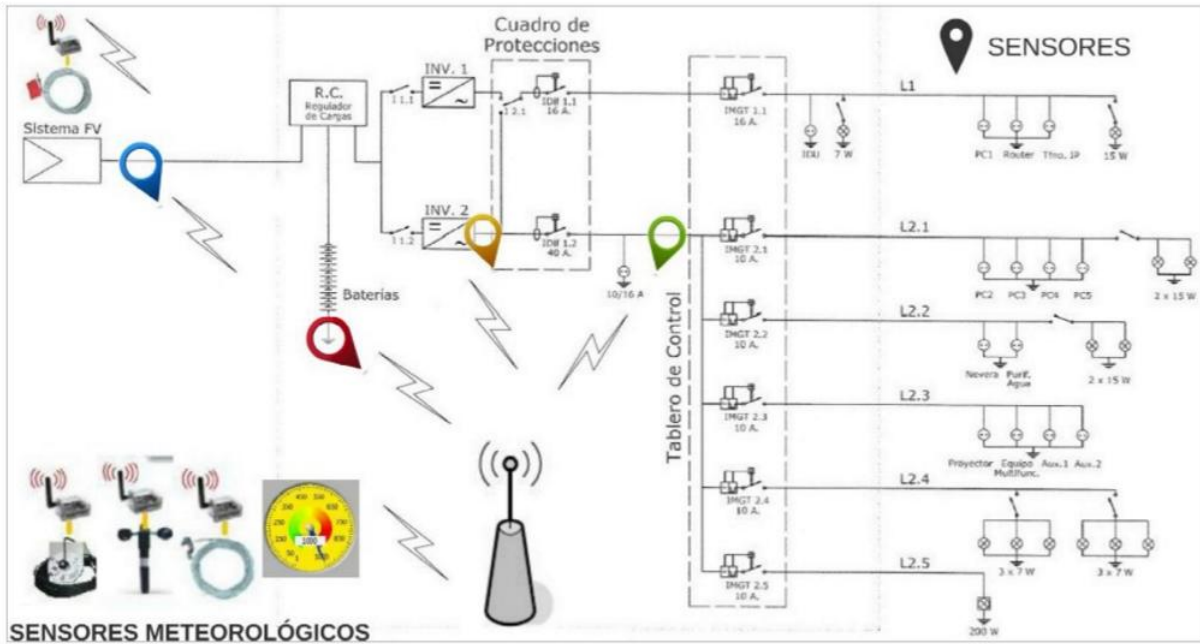


Figura 4. Esquema unifilar del sistema fotovoltaico de monitoreo remoto.

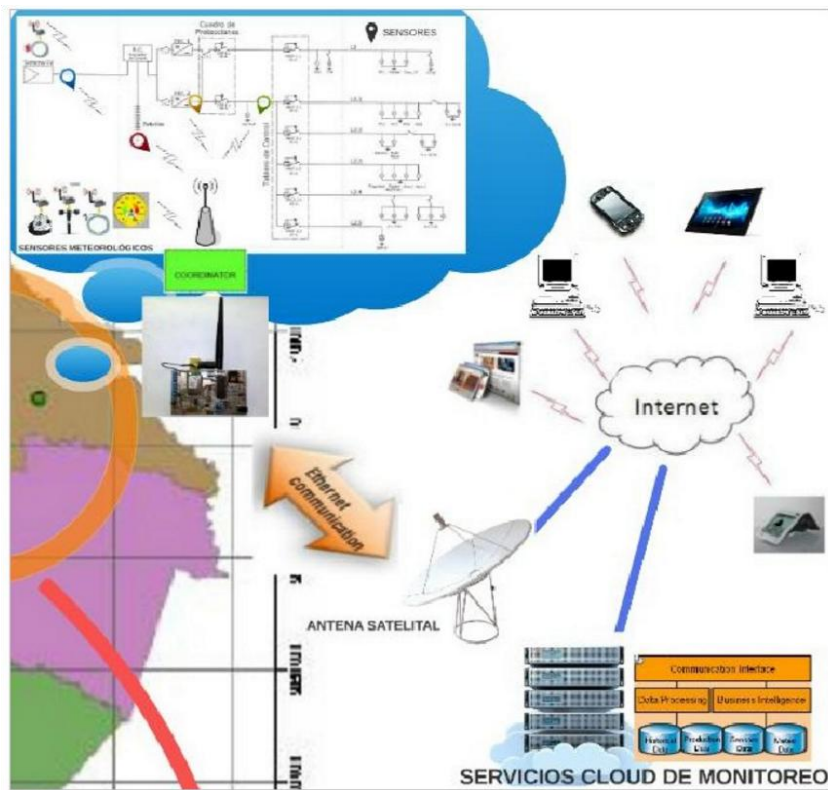


Figura 5. Servicios cloud de monitoreo remoto.

El conjunto de sensores conforman un sistema inalámbrico Zigbee de transmisión de información. Los registros de las mediciones de los sensores se centralizan en un Data Logger coordinador que a través de una comunicación ethernet envía la información registrada a un servidor de Internet por medio de la antena satelital, Fig. 5. El servidor estará soportado por tecnología cloud computing, lo que permitirá una escalabilidad del consumo de recursos hardware acorde a las necesidades del sistema de monitoreo en los diferentes estadios de su ciclo de vida.

El servidor se define como un conjunto de servicios y aplicaciones cloud que permiten recibir, almacenar y gestionar la información obtenida desde el Data Logger y proporcionar acceso a usuarios remotos a la información registrada a través de plataformas amigables y entornos gráficos de fácil manejo especialmente desarrollados para los usuarios y clientes del sistema de monitoreo.

Por tanto, en esta fase se abordarán las siguientes tareas:

- Definir los requerimientos técnicos y criterios de selección del sistema remoto de monitoreo.
- Seleccionar los sensores de monitoreo.
- Instalar y realizar la puesta en marcha de los sensores inalámbricos.
- Definir los requerimientos técnicos y los criterios de diseño del sistema de adquisición de datos.
- Seleccionar el equipamiento necesario para el sistema de adquisición de datos.
- Seleccionar el protocolo de comunicación adecuado para la transmisión de información.
- Realizar pruebas de comunicación entre los sensores inalámbricos y el equipamiento de adquisición de datos.

Uno de los objetivos más ambiciosos de la propuesta es disponer de un servidor para el desarrollo de plataformas de software libre para organizar los diferentes servicios del sistema de monitoreo sobre tecnología cloud, que proporcionará el entorno ideal para la creación de una aplicación web amigable para el tratamiento de los datos registrados dentro de un sistema escalable a las necesidades.

La implementación práctica de un sistema de monitoreo remoto basado en redes de dispositivos de medición (Internet of Things) y el empleo de plataformas de software libre para organizar los diferentes servicios del sistema de monitoreo sobre tecnología cloud, proporcionará el entorno ideal para la creación de una aplicación web amigable para el tratamiento de los datos registrados.

Asimismo, la escalabilidad necesaria para definir los criterios básicos de un procedimiento técnico nacional para el monitoreo de los sistemas fotovoltaicos instalados a lo largo y ancho del país.

En esta fase se abordarán las siguientes tareas:

- Definir la arquitectura informática del sistema de monitoreo y las herramientas y tecnologías informáticas a emplear.
- Testear la adquisición, tratamiento y análisis de la información de los diferentes componentes de la instalación fotovoltaica.
- Elaborar la estructura básica de la aplicación web.
- Diseñar un sistema de almacenamiento persistente y exportación de información.
- Desarrollar aplicaciones de visualización y presentación de datos en una página web.
- Implementar la creación y exportación de informes diarios así como la presentación de información en una página web.
- Desarrollar una herramienta de generación de información gráfica.
- Diseñar y programar un sistema de alertas.

6. RESULTADOS ESPERADOS

La plataforma propuesta para el monitoreo de instalaciones fotovoltaicas aisladas en Ecuador pretende la creación y desarrollo de un centro de control solar para mantener, operar y controlar las instalaciones fotovoltaicas, reduciendo sus costes de operación y evitar las indeseadas e inesperadas interrupciones de energía eléctrica en zonas aisladas.

Inicialmente se diseñará e implementará un servicio de monitoreo en tiempo real basado en sensores inalámbricos de bajo consumo para recopilar datos. Posteriormente para el tratamiento, gestión y almacenamiento de la información registrada se empleará una plataforma cloud de servicios y aplicaciones. Finalmente, se desarrollará una aplicación web en software libre para la publicación de información en tiempo real e informes periódicos. Esta aplicación será el núcleo de un innovador centro de control solar. La tecnología de cloud computing se elige por:

- Garantía de disponibilidad, escalabilidad y fiabilidad de la plataforma cloud computing.
- La capacidad de ajustar los costes económicos en gastos fijos.
- Otros resultados esperados son:
- La realización de cursos de especialización y seminarios sobre la tecnología de cloud computing aplicada al monitoreo de instalaciones fotovoltaicos.
- Diseño de la documentación técnica para la implementación de sistemas de monitoreo remoto basado en tecnología cloud computing.
- La formación de personal altamente calificado para el desarrollo de sistemas de monitoreo remoto en otros campos de la economía nacional (por ejemplo, la salud, la agricultura o el transporte).

7. CONCLUSIONES

Las soluciones comerciales para el monitoreo de los sistemas fotovoltaicos presentan tres inconvenientes principales:

- El registro y medición de datos se realiza en dispositivos de grabación que consumen demasiada energía solar.
- Asimismo, se requiere una gran capacidad de almacenamiento para ciertas condiciones de frecuencia de registro de datos o registro histórico series de datos.
- Los fabricantes solares para el monitoreo de instalaciones fotovoltaicas suministran equipos con un software propio.

Estas deficiencias motivan la presente propuesta de implementación de una plataforma de cloud computing para el monitoreo de sistemas fotovoltaicos aislados en Ecuador con el objetivo de desarrollar:

- Una solución escalable, basado en software de software libre, en el empleo de sensores inalámbricos de bajo consumo
- La escalabilidad extrema del sistema para el almacenamiento de una gran cantidad de información (datos en tiempo real e informes periódicos).
- El desarrollo de servicios web en la modalidad 'SaaS' para el procesamiento, gestión y publicación de la información registrada y la creación de un innovador centro de control solar fotovoltaico en el Ecuador.

La presente propuesta de diseño e implementación de un sistema de monitoreo de instalaciones fotovoltaicas aisladas en el Ecuador permitirá generar información para que los titulares de las mismas puedan mantener, operar y controlar estos sistemas de generación de energía, reduciendo los costos de operación de las instalaciones y evitando indeseadas e inesperadas interrupciones de energía eléctrica en zonas aisladas.

En este contexto, el principal objetivo del artículo es proponer la creación de una plataforma eficiente y escalable de cloud computing para el monitoreo instalaciones fotovoltaicas aisladas del Ecuador. La propuesta adopta la tecnología cloud computing para cumplir las exigencias de monitoreo de instalaciones solares, proporcionando los servicios web que garantizan la accesibilidad, escalabilidad y fiabilidad de la plataforma, y adoptar un modelo de servicio que permita ajustar los costos económicos.

En cuanto al trabajo futuro se pretende desarrollar un estudio piloto centrado en una instalación fotovoltaica específica con el objetivo de ampliar los resultados obtenidos a la creación de centro de control fotovoltaico solar.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Secretaria de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, SENESCYT, y al Consorcio Ecuatoriano para el Desarrollo de Internet Avanzado, CEDIA, por su especial apoyo en el desarrollo de la presente propuesta, gracias a la financiación del proyecto PROMETEO: Integración de Energías Renovables en la Provincia de Tungurahua, y del proyecto CEPRA VIII-2014-05: Diseño e Instalación de un Sistema Remoto de Monitoreo de Evaluación y Análisis del Comportamiento de Instalaciones Fotovoltáicas en el Ecuador, respectivamente.

REFERENCIAS

- Andreoni, M.E., F.J. Galdeano, M.G. Molina, 2012. Implementation of wireless remote monitoring and control of solar photovoltaic system. Transmission and Distribution: Latin America Conference and Exposition (T&D-LA), 2012 Sixth IEEE/PES, 6 pp. Disponible en <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6319050>.
- Armbrust, M., I. Stoica, M. Zaharia, A. Fox, R. Griffith, A.D. Joseph, R. Katz, A. Konwinski, G. Lee, D. Patterson, A. Rabkin, 2010. A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, 53(4), 50-58.
- Bayrak, E., J.P. Conley, S. Wilkie, 2011. The economics of cloud computing. *Korean Econ. Rev.*, 27(2), 203-230.
- Danfoss Solar Inverters A/S, 2013. Remote PV Monitoring: Simple, smart and secure. Technical Report, 4 pp. Descargado de http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/87EC8EE8-C8A0-4656-9006-DE3BA1919BC4/0/RemotePVmonitoring_single_pagesDKSIPB202C202UKwebA4.pdf.
- EURO-SOLAR, 2009. Energía renovable para el desarrollo. Avance del Programa. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable del Ecuador. Disponible en http://www.tech4cdm.com/userfiles/12_Proyecto%20Eurosolar%20Ecuador%20oct%202009.pdf, 23 pp.
- Etro, F., 2009. The economic impact of cloud computing on business creation, employment and output in Europe. *Rev. Bus. Econ.*, 54(2), 179-208.
- Informe de Rendición de Cuentas 2012, 2013. Informe Técnico, *Ministerio de Electricidad y Energía Renovable del Ecuador*, Quito, Ecuador.
- Lim, Y.-W., H. Lim, 2014. PV Monitoring System Utilizing XML. In: 2nd International Conference on Intelligent Control, Modeling and Systems Engineering (ICMS'14). Cambridge, MA, USA., 4 pp. Disponible en <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2014/CambridgeUSA/ICMS/ICMS-27.pdf>.
- Martínez, I., L. Mora, M. Piliouge, M. Sidrach, 2010. Software para la monitorización y evaluación de instalaciones fotovoltaicas. In: IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES_CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII-SPES), Curso, Peru, 5 pp. Disponible en http://perusolar.org/17-spes-taller-2/Llanos_Mora_Lopez/Llanos_Mora_Lopez.pdf.
- Meteocontrol Ibérica, 2013. Safer'Sun Professional: Monitorización remota y análisis de rendimiento de plantas fotovoltaicas. Technical Report, 8 pp. Descargado de http://www.meteocontrol.com/fileadmin/Downloads/saferSun_Professional/MEC-0370-saferSun_Broschuere-sp_web.pdf.

- Nkoloma, M., M. Zennaro, A. Bagula, 2011. Sm2: Solar monitoring system in Malawi. In: Kaleidoscope: The Fully Networked Human? - Innovations for Future Networks and Services (K-2011), Proceedings of ITU, 6 pp. Disponible en <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6144215>.
- Prieto, M.J, A.M. Pernía, F. Nuño, J. Díaz, P.J. Villegas, 2014. Development of a wireless sensor network for individual monitoring of panels in a photovoltaic plant. *Sensors*, 14(2), 2379-2396.
- Programa EURO-SOLAR, 2014. Manual de uso y mantenimiento del sistema solar fotovoltaico comunitario, 74 pp. Descargado de http://renovablesmitaddelmundo.wikispaces.com/file/view/manual_eurosolar_22062010%5B1%5D.pdf.
- Riesco, J., P. Romera, P. Linares, 2002. Central solar fotovoltaica de la ICAI. Monitorización y difusión en la web. *Era Solar*, 111, 6-31.
- Ryu, Y., J. Yoo, Y. Kim, 2012. Cloud services based Mobile monitoring for Photovoltaic Systems. In: 4th International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom, IEEE), 578-580. Disponible en http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6427596&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D6427596.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo de la República de Ecuador, 2013. Plan Nacional de Desarrollo/Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017.
- SMA Ibérica Tecnología Solar, 2013. Sistemas de Monitorización. Disponible en <http://www.sma-iberica.com/es/productos/sistemas-de-monitorizacion.html>.
- Schelling, N., M.J. Hasson, S.L. Huong, A. Nevarez, W.C. Lu, M. Tierney, L. Subramanian, H. Schützeichel, 2010. Simbalink: Towards a sustainable and feasible solar rural electrification system. In: 4th International Conference on Information and Communication Technologies and Development, 10 pp. Disponible en <http://cs.nyu.edu/~tierney/papers/simbalink2010.pdf>.
- Zigor Corporación, 2013. Instalación Paragachi. Disponible en http://www.zigor.com/co/index.php?option=com_content&view=article&id=191%3Aparagachi&catid=12%3Aempresa&Itemid=163&lang=es.