

Evolución Tecnológica de los Sistemas Remotos de Monitoreo en las Instalaciones Fotovoltaicas

Manzano S.*; Guevara D.*; Ríos A.*

**Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial
Ambato, Tungurahua, Ecuador
e-mail: {victorsmanzano; dguevara; a.rios}@uta.edu.ec*

Resumen: Este artículo presenta una visión general de soluciones de monitoreo remoto para instalaciones fotovoltaicas, junto con las principales propuestas, productos comerciales y experiencias internacionales. El documento se centra en tres aspectos principales: i) Consumo de los aparatos de medición de datos y de registro, ii) Requerimientos de almacenamiento para determinadas condiciones de frecuencia de registro de datos o registro históricos de series de datos. iii) Programas informáticos con licencias proporcionados por los fabricantes de sistemas solares.

Por otra parte, se presenta una revisión detallada de una plataforma basada en web para la supervisión de los sistemas fotovoltaico. Esta revisión se centra en las experiencias reales en base a las características siguientes: i) sensores inalámbricos de bajo consumo para recopilar información en tiempo real, ii) la escalabilidad del sistema, iii) cantidad de información (datos en tiempo real e informes periódicos) para procesar, almacenar y publicar, y iii) un conjunto de servicios electrónicos de código abierto y aplicaciones web. Finalmente, se describe una propuesta de una nueva arquitectura para sistemas de control aislado fotovoltaicos en Ecuador.

Palabras clave: Servicios en la Nube, monitoreo, sistemas fotovoltaicos, sensores inalámbricos, IoT.

Abstract: This paper presents an overview of remote monitoring solutions for PV installations along with the main proposals, commercial products and international experiences proposed in the literature. The paper is focused on three main features: i) consumption of data measuring and recording devices, ii) storage requirements for certain conditions of data logging frequency or historical data series register, and iii) proprietary software provided by solar manufacturers.

Furthermore, a detailed review of cloud-based platform for monitoring of PV systems is present. This review focuses on real experiences based on following features: i) low consumption wireless sensors to gather real-time information, ii) extreme scalability of the system, iii) huge amount of information (real-time data and periodic reports) to process, store and publish, and iii) a set of open source e-services and web applications. Finally, a proposal of new architecture for isolated PV monitoring systems in Ecuador is described.

Keywords: Cloud services, monitoring, photovoltaic systems, wireless sensor, IoT.

1. INTRODUCCIÓN

Las fuentes de energía renovables (FER), son consideradas como una alternativa importante para contribuir significativamente al suministro de energía sostenible en el mundo. La energía fotovoltaica (FV) genera electricidad a partir de la radiación solar y es típica de las nuevas tecnologías FER debido a su continuo progreso tecnológico y su reducción de costes.

El Plan Nacional para el Buen Vivir [1], el Plan Nacional de Desarrollo del Ecuador, se organiza para transformar la matriz energética del Ecuador mediante la promoción de políticas y directrices estratégicas para aumentar la

participación sostenible de las energías renovables como una medida de prevención de la contaminación del medio ambiente. En consecuencia, un número significativo de los sistemas fotovoltaicos serán instalados en el país.

La primera instalación fotovoltaica conectada a la red convencional principal ecuatoriana está trabajando en Paragachi, Imbabura, desde enero de 2013 [2]. Se compone de 4.160 paneles solares con una capacidad total instalada de 998 kW. Esta planta demandó una inversión de más de dos millones de dólares financiados por el Biess (Banco del Instituto Ecuatoriano de la Seguridad Social), Fig. 1.

Por otra parte, gracias al Programa EURO-SOLAR en Ecuador [3], había casi 100 sistemas fotovoltaicos aislados a principios de 2014.

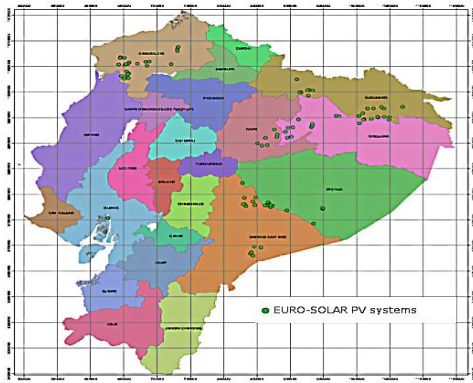


Figura 1: PV Sistemas Instalados en el Marco del Programa EURO-SOLAR [5]

El programa beneficia a siete provincias del Ecuador: Guayas, Esmeralda, Orellana, Napo, Pastaza, Sucumbíos y Morona Santiago. Cada comunidad recibió un kit que se compone principalmente de dos sistemas [4]: una instalación de generación de energía y un punto de acceso a la comunicación. La instalación del sistema de generación de energía se compone de una torre metálica que soporta siete paneles fotovoltaicos con una potencia total de 1.100 watts. El punto de acceso de comunicación permite a las comunidades beneficiarios estar conectadas usando tecnología satelital V-SAT.

Hoy en día, existe una amplia gama de sistemas comerciales para el seguimiento de grandes y pequeñas instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red. Las compañías que distribuyen soluciones comerciales para el seguimiento de los sistemas fotovoltaicos, se pueden destacar: SMA Solar Technologies, Fronius International GmbH, inAccess Networks, Fat Spaniel Technologies, Morningstar Corporation, o SolarMax. Sus soluciones [9, 10, 11, 12] por lo general proporcionan el software como servicio (SaaS) [13] que ofrece su funcionalidad como un servicio basado en la web.

Estas aplicaciones web permiten a los usuarios finales visualizar y analizar los fenómenos transitorios (tensión, frecuencia, electromagnéticos), y evolución histórica de la instalación fotovoltaica. Además, algunas aplicaciones avanzadas para informar sobre problemas de fallos, tales como alarmas o notificaciones (por ejemplo, correos electrónicos o mensajes de texto) cuando se producen averías en el sistema fotovoltaico.

Sin embargo, las soluciones comerciales presentan algunos inconvenientes [14, 15]. Los dispositivos de medición de datos y de grabación consumen demasiada energía.

También requieren alto almacenamiento para determinadas condiciones de frecuencia de registro de datos o registro histórico de datos en serie.

Por otra parte, los fabricantes de paneles solares suministran el software propietario para el seguimiento de la instalación fotovoltaica. Este tipo de software no permite adaptarse a requisitos para cada instalación, porque no se puede

desarrollar nuevas funcionalidades del software, tales como evaluaciones de desempeño personalizados.

Estas carencias motiva a proponer una plataforma basada en la nube para el monitoreo de los sistemas fotovoltaicos aislados en Ecuador con el objetivo de desarrollar una solución extrema escalable basado en software de código abierto, sensores inalámbricos de bajo consumo, y adaptarse con el paradigma SaaS para procesar, administrar y publicar la información para un futuro centro de control solar ecuatoriano.

La monitorización remota de instalaciones fotovoltaicas aisladas en Ecuador proporcionaría la información necesaria para el mantenimiento, operación y control de estos sistemas, y, en consecuencia, reduce los costos de instalaciones y evita las interrupciones de energía eléctrica no deseados en zonas aisladas. Debido al Programa EURO-SOLAR, existen sistemas fotovoltaicos aislados en diferentes provincias del Ecuador.

Por otra parte, otros mecanismos promueven sistemas de generación eléctrica basados en fuentes de energía renovables. Por lo tanto, es esperar un aumento en el número de instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica de Ecuador en los próximos años. Este hecho introduce extrema escalabilidad como uno de los requisitos más importantes para cumplir en el diseño de la plataforma de monitorización.

En este contexto, el objetivo principal de este artículo es realizar una descripción general de los sistemas de monitoreo fotovoltaicos centrándose en su evolución histórica, su arquitectura, su naturaleza y la computación en nube.

Además, se propone una plataforma escalable y eficiente para el seguimiento de las instalaciones fotovoltaicas aisladas en el Ecuador que adopten la tecnología de cloud computing para cumplir con los requisitos de operación y control de una instalación solar. Con este objetivo, la plataforma proporciona los servicios electrónicos que garanticen su disponibilidad, escalabilidad y fiabilidad mediante la adopción del modelo de servicio bajo demanda, paradigma SaaS.

El resto de este artículo está organizado de la siguiente manera. En la Sección 2, revisa los sistemas actuales para el control de instalaciones fotovoltaicas centrándose en su arquitectura. Una visión general de los sistemas de seguimiento PV según su evolución histórica y la tecnología se realizan en la Sección 3. Experiencias de monitoreo PV basado en la IoT y la computación en la nube se describen en la sección 4. En la sección 5, se propone una nueva arquitectura para el monitoreo remoto aislado fotovoltaico basado en la IoT y la plataforma de cloud computing en el Ecuador.

Por último, en la Sección 6, se presentan las principales conclusiones.

2. ARQUITECTURA DE LOS SISTEMAS DE MONITOREO FOTOVOLTAICO BASADO EN CLOUD COMPUTING

El monitoreo de los sistemas fotovoltaicos aislados proporciona información que permite a sus titulares el mantenimiento, la operación y el control de estos sistemas, reduciendo los costos de operación y evitando las interrupciones de energía eléctrica no deseadas en zonas aisladas.

El sistema de monitoreo remoto consiste en sensores inalámbricos, que registran las mediciones meteorológicas y magnitudes eléctricas-físicas para los diferentes elementos de la instalación fotovoltaica. Los datos medidos por los sensores inalámbricos están registrados en un dispositivo electrónico llamado Data Logger. El registrador transfiere la información recopilada a un centro de datos mediante el uso de una conexión a Internet.

Es importante destacar que la información en tiempo real obtenida de las instalaciones aisladas mediante el uso de sensores inalámbricos es enorme. Esta información tiene que ser procesada, almacenada y publicada con el fin de generar informes periódicos cada hora, día, semana, mes, trimestre y año; esto significa que el diseño de la plataforma debe estar diseñada para analizar los datos del registro.

En el actual entorno tecnológico, donde la presencia de los servicios de red y aplicaciones es notable y la cantidad de datos que se intercambian es enorme, los sistemas de computación basada en la nube son, en la actualidad, la mejor solución para apoyar estos servicios electrónicos y para almacenar la gran cantidad de información compartida con un nivel razonable de disponibilidad, escalabilidad y fiabilidad.

Los servicios de monitoreo basado en plataformas web permite la optimización de hardware con la virtualización, y en consecuencia, ampliar su capacidad de acuerdo a las

necesidades del sistema de monitoreo en las diferentes etapas de su ciclo de vida. Después de recopilada la información en tiempo real, el registrador envía los datos recopilados a un servidor en la nube, mediante el uso de un servicio web en Internet. Luego, la plataforma mediante una aplicación web basada en la nube publicará información en tiempo real e informes periódicos. Estos informes serán parte de un centro de datos bajo el modelo SaaS. Una aplicación web basada en SaaS se implementará mediante el uso de software de código abierto para publicar información en tiempo real y periódicos.

En resumen, el diseño de una arquitectura basada en la nube para la plataforma de monitoreo permite:

- Una escalabilidad del sistema
- Procesar, almacenar y publicar una enorme cantidad de información.
- Uso del conjunto de los servicios electrónicos y aplicaciones web que proporcionan funcionalidades, bajo un paradigma SaaS.

Los propietarios, operadores del sistema y los usuarios de las instalaciones podrán acceder al centro de control en cualquier lugar, en cualquier momento mediante el uso de diferentes dispositivos (por ejemplo, ordenadores de escritorio, ordenadores portátiles, teléfonos inteligentes o tablets). Por otra parte, el seguimiento de los sistemas fotovoltaicos suministrará información para modelar, simular y predecir la generación de energía eléctrica en las plantas conectadas a la red y en las instalaciones aisladas.

La arquitectura moderna de un sistema de monitoreo remoto se divide en tres capas, Fig. 2: La capa de adquisición, la capa de pre-tratamiento y de grabación y la capa de almacenamiento y Servicios Web.



Figura 2: Arquitectura moderna de los sistemas de monitoreo remoto.

• La Capa de adquisición consta de la red de sensores que adquiere la información predefinida desde el panel solar y las variables meteorológicas. Estos sensores están integrados en

una red inalámbrica. Hay varias plataformas de hardware disponibles para el despliegue de redes de *sensores*

inalámbricos como Xbee, TelosB, Mica, IRIS y Wasmote entre otras. La conexión de estos dispositivos finales forma una red y envían la información recogida por los sensores a la capa de Pre-tratamiento y almacenamiento.

- La capa de pre-tratamiento y de registro es responsable de la gestión de los datos recibidos desde la red de sensores. Los datos recogidos son almacenados temporalmente en el búfer de registro de datos y la envía a la capa de Supervisión y almacenamiento a intervalos predefinidos.

- Por último, la capa de Supervisión y Almacenamiento gestiona los datos obtenidos a partir de registrador de datos en un servidor Web y permiten conectarse y publicar de forma adecuada la información en la Internet. Esta capa almacena los datos de los sensores en una base de datos y ofrece una interfaz Web para los usuarios finales, gestionando los datos de los sensores y generando estadísticas.

3. EVOLUCIÓN HISTÓRICA Y ANÁLISIS TÉCNICO DE SISTEMAS DE MONITOREO PV

En esta sección se revisan los sistemas de seguimiento Fotovoltaico desde 1994 al 2014. Las Tablas 1, 2 y 3 presentan un análisis dividido en tres etapas histórico según el ámbito tecnológico y se resume una revisión de artículos científicos e informes [16-39].

La revisión se centra en el análisis de los proyectos de monitoreo remoto y experiencias para las instalaciones fotovoltaicas. Cada cuadro se indica el año y el grupo de investigación para cada experiencia o proyecto. Asimismo, la columna Capa de Adquisición y Comunicación especifica los dispositivos y la tecnología utilizados para la transmisión de datos.

En la capa de Supervisión que contiene el almacenamiento y acceso remoto, también indica las características de la estructura SCADA, el software utilizado, dispositivos de almacenamiento y de acceso remoto.

En la Tabla 1, se muestra importantes avances tecnológicos que pueden diferenciarse en tres etapas. La primera etapa se inició en 1994 y terminó en 2001. En esta sección, en la mayoría de los proyectos consultados, se utiliza software de los fabricantes de los inversores para la adquisición de datos de las instalaciones fotovoltaicas.

La Capa de Adquisición y Comunicación se conecta con la capa de Supervisión, Almacenamiento y Acceso remoto mediante una conexión por cable. El software SCADA es proporcionado por el fabricante de los inversores y existe una manera de controlar remotamente la estación a través de un módem o un servidor web.

En la Tabla 2 muestra de segundo salto tecnológico 2002-2006, en el que en la capa de adquisición y comunicación se distingue el uso de sensores específicos para la medición de los parámetros de la instalación fotovoltaica y las

tecnologías de la comunicación con el data logger fue utilizado entre los siguientes: cable, GSM, conexión satelital.

Entre el software que se utiliza para mostrar y controlar estas plantas fotovoltaicas, se puede distinguir: LabView, C #, InTouch para almacenamiento de datos utilizando la base de datos como archivos aparece con extensión .csv, Microsoft Access, MySQL, Apache en servidores de monitoreo remoto y la transmisión de datos a través de direcciones ftp.

La Tabla 3 muestra el tercer salto tecnológico 2007-2014 en el que se emplea de redes de sensores para la medición de los parámetros de la instalación fotovoltaica.

Para la comunicación entre esta red y el registrador de datos se puede citar enlaces: cableados, inalámbricas, GSM, ZigBee. En el registro de datos, se encontró el uso de tarjetas con Tecnologías de la National Instrument, Arduino, Wasmote. El centro de monitoreo todavía consiste en un PC instalado en la mayoría de los casos mediante el uso de los componentes del software LabView que le permiten tener un monitoreo remoto.

4. EXPERIENCIAS DE MONITOREO DE FOTOVOLTAICO BASADO EN INTERNET DE LAS COSAS (IoT) y COMPUTACIÓN EN NUBE (CLOUD COMPUTING)

La gestión de la eficiencia, funcionalidades de software personalizadas y coste económico de los sistemas de monitoreo se puede mejorar aún más con el diseño y desarrollo de una plataforma de monitoreo remoto basado en Internet de las Cosas (IoT) y la computación en nube.

La integración de la IoT y la computación en nube es llamada por diferentes autores como el paradigma CloudIoT [40, 41, 42]. En la Fig. 3, se muestra un marco conceptual para el paradigma.

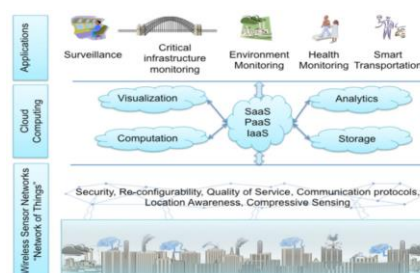


Figura 3: Integración de servicios IoT y cloud computing. CloudIoT [58].

Tabla 1. Evolución Histórica y Análisis Técnico de Sistemas de Monitoreo PV de 1994 a 2001.

EXPERIENCIAS		The Control System of Enel's 3.3 MWp PV Plant [15]	Sunpac: The Remote Monitoring of Photovoltaic Installations [16]	Monitoring of PV Systems at the Centre for renewable energy and eco-nergy house [17]
AÑO/ CENTRO DE INVESTIGACIÓN		1994/ Centro ricerca di automatica Enel s.p.a. Italy	1995/ Transenergie- Total Energie	2001/ Contractor school of the built environment the University of Nottingham
DISPOSITIVO IOT	CAPA DE ADQUISICIÓN Y COMUNICACIÓN	Peripheral control system of Inversor/ seira	Control cabinet with sunpac	Low resistance shunts, potential voltage dividers, Programmable energy meters, pyranometers, type thermocouples
TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN		Ethernet Fiber optic lan Protocol tcp-ip	Wire	Wire
DATALOGGER		Microvax workstation/ Plc siemens	Control cabinet with sunpac	Microlink
FRECUENCIA DE ADQUISICIÓN DE DATOS		1200 datos/seg		10-second intervals
CONSUMO		----	----	----
VELOCIDAD		----	----	----
RANGO	----	----	----	
CENTRO DE SUPERVISIÓN	CAPA DE SUPERVISIÓN, ALMACENAMIENTO Y MONITOREO REMOTO	Microvax workstation	Computer for permanent surveillance center	Pc
SOFTWARE SCADA		----	Sunpac	Windmill
DISPOSITIVO DE ALMACENAMIENTO		Tape and Floppy disks	Transfer data via modem, Download portable micro-computador floppy disk	On the monitoring pc, on a cd-rom and on an office pc.
MONITOREO REMOTO		Via modem	Via telecom modem	----

Tabla 2. Evolución Histórica y Análisis Técnico de Sistemas de Monitoreo PV de 2002 a 2006.

EXPERIENCIAS		Monitorización y difusión en la web de la central solar fotovoltaica de la Universidad Pontificia Comillas [18]	Satellite monitoring system for remote pv systems [20]	Real-time, web based energy monitoring system for a solar academic building [21]	Remote monitoring and control of a pv-hybrid system [22]	Implementation of a web-based real- time monitoring and control system for a hybrid wind- pv-battery renewable energy system [24]
AÑO/ CENTRO DE INVESTIGACIÓN		2002/ Universidad Pontificia Comillas	2002/ Ufrj-coppe-ee, PV-Labs	2004/ Oberlin College, Stanford University	2005/ Systems Sunlight S.A., Electrical Power Engineer, National Technical University of Athens	2006/ National Cheng Kung University
DISPOSITIVO IOT	CAPA DE ADQUISICIÓN Y COMUNICACIÓN	Inversor monofásico tauro prm 5000/8	Ptt(platform transmitter).	14 sensors	Adam 4017 Adam 4051 Adam 4056	Digital power meters
TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN		Fiber optic	Satellite Argos-ptlult-o1,2 watt, max. 4 addresses	Wire	Gsm Offers rs-232 and rs-485 series communication port	Wire
DATALOGGER		Inversor monofásico tauro prm 5000/8	Ptt(platform transmitter).	Campbell scientific, inc. (csi) model cr23x	Controller adam 6501	Digital power meters
FRECUENCIA DE ADQUISICIÓN DE DATOS		5 minute	10 byte data/15 minutes	1-minute intervals	----	----
CONSUMO		----	1up to	----	----	----
VELOCIDAD		----	401.65 mhz	----	115.2 kbps	----
RANGO	----	Satellite coverage	----	----	----	
CENTRO DE SUPERVISIÓN	CAPA DE SUPERVISIÓN, ALMACENAMIENT O Y MONITOREO REMOTO	Pc	Telemetry-satellite-system called argos	Two personal computers running national instruments	Pc with Windows ce 5.0 xscale	Pc connected with ethernet Plc omron
SOFTWARE SCADA		Software propietario inverter	Telemetry-satellite-system called	Labview 6.1	C#	Intouch software
DISPOSITIVO DE ALMACENAMIENTO		Mysql	----	Temporary files on the laptop	Mysql data Base.	File is a .csv
MONITOREO REMOTO		Server web apache	Argosweb	Ftp server software web server	Web server	Web

Una muy amplia gama de aplicaciones se hacen posible gracias a la integración de la IoT y la computación en nube. Estas aplicaciones se pueden agrupar en los siguientes dominios [42, 56, 57, 58]:

- El cuidado de Sanidad y Telesalud [43, 44, 45, 46, 47].
- La gestión del tráfico automático [48].
- Aplicaciones inteligentes [49, 50, 51, 52, 53, 54].
- Monitoreo y control del medio ambiente [54, 55].
- Inicio y edificio industrial de automatización y de control.
- Video Vigilancia.
- Seguridad remota, de emergencia y defensa

Tabla 3. Evolución Histórica y Análisis Técnico de Sistemas de Monitoreo PV de 2007 a 2014.

EXPERIENCIAS		GSM-based monitoring and control of photovoltaic power generation [26]	Design of a remote data monitoring system for a solar and wind based renewable energy power source: application to a water delivery project in a rural community [28]	Wired and wireless remote control of pv system [30]	Simbalink: towards a sustainable and feasible solar rural electrification system [33]	Sm 2 : solar monitoring system in Malawi [34]	Wireless zigbee system for performance monitoring of photovoltaic Panels [35]	Photovoltaic Remote Monitoring System based on GSM [37]	Development of a wireless sensor network for individual monitoring of panels in a photovoltaic plant [38]
AÑO/ CENTRO DE INVESTIGACIÓN		2007/ University of Rome ‘‘La Sapienza’’	2008/ University of the District of Columbia, Center of excellence for renewable energy	2010/ Biosar Energy S.A.	2011/ New York University	2011/ Malawi Polytechnic, University of Cape Town	2011/ Simon Fraser University	2013/ Institut Pengurusan & Pemantauan Penyelidikan (ipp), University of Malaya	2014/ Universidad de Oviedo
DISPOSITIVO IOT	CAPA DE ADQUISICIÓN Y COMUNICACIÓN	Pv sensor cell (pvsc), Voltage Dividers and current shunts	Ni-4060, 5 ½ digit digital multimeter (dmm)	Multiple sensors and Actuators <i>Current sensors, System voltage sensors, Pyranometer</i>	Voltage divider circuit	Phidget 1117 voltage sensor, Phidget i-snail-vc 100 current sensor	Step-down dc to dc converter, and Current/voltage sensors, Cc2530 from texas instruments inc.	Voltage sensor, Current sensor, Temperature sensors	Wsn
		Gsm cellular	Wire	Wired and wireless	Gsm	Wire	Zigbee/ieee 802.15.4	Wire	Xbee
		Ni field-Point architecture: Fp-2000	Ni-4060, 5 ½ digit digital multimeter (dmm)	Atmrga16 microcontroller	Arduino duemilanove board	Waspnote board Gsm	Zigbee mcu Cc2531 ti soc	Pic18f4550 Gsm	Xbee-pro 802.15.4 Pic microcontroller
		2.8 ms	----	----	1120 bits	6 sms transmissions in a day	----	5 minutes	----
		High	----	----	High	High	Very low	High	Very low
		1.8-7.2 Mbs	----	----	1.8-7.2 Mbs	1.8-7.2 Mbs	250 kbs	1.8-7.2 Mbs	250 kbs
		Cellular Network	----	----	Cellular Network	Cellular Network	10-300 m	Cellular Network	10-300 m
CENTRO DE SUPERVISIÓN	CAPA DE SUPERVISIÓN, ALMACENAMIENTO Y MONITOREO REMOTO	Monitoring And control system (mcs)	Pc with labview	Pc	Usb 3g mobile Broadband modem connected to a computer	Computer with the following packages: Lamp linux, apache,	Pc	Pc Gsm	Central computer
SOFTWARE SCADA		Labview rt	Labview	Labview	Smsappstore,	Frontlinesms	National instrument's labview software	---	Matlab
DISPOSITIVO DE ALMACENAMIENTO		----	----	----	Database-centric	Mysql	----	. Csv	----
MONITOREO REMOTO		Lan	Web	----	Web	Web	----	---	----

El IoT es considerado como el siguiente paso revolucionario de la tecnología en la transformación de Internet, en un Internet totalmente integrado Futuro y la próxima ola en la era de la informática y de Internet. La aplicación práctica de la IoT es la integración de varias tecnologías: Redes de sensores inalámbricas y por cable Identificación por radiofrecuencia (RFID), Teléfonos móviles y actuadores de control inteligentes, Soluciones de comunicación, Protocolos de comunicación mejorados, Computación en general [57, 58, 59, 60].

En los sistemas de monitoreo remoto, la IoT juega el papel de la adquisición y transmisión de datos registrados en tiempo

real [61, 62]. Los sistemas de seguimiento basados en redes de sensores inalámbricos generan gran cantidad de valores de datos. En este sentido, es muy importante proponer una arquitectura extensible y flexible para la integración de redes de sensores inalámbricos con las tecnologías de la nube [63, 64].

Las Tecnologías de nube se utilizan como plataformas flexibles, potentes y rentables a través de Internet para el almacenamiento y procesamiento de datos en tiempo real. La plataforma en la nube se compone de hardware, redes, servidores, aplicaciones, dispositivos de almacenamiento, servicios web e interfaces que permiten la entrega de la computación como un servicio [65, 66].

En el actual entorno tecnológico, donde la presencia de los servicios de red y aplicaciones es notable y la cantidad de datos intercambiados es realmente enorme, sistemas de cloud computing son la mejor solución para apoyar estos servicios electrónicos y para almacenar la gran cantidad de información que se comparte con un nivel razonable de disponibilidad, escalabilidad y fiabilidad [67, 68].

Las potencialidades que ofrecen los sistemas de monitoreo basados en la aplicación combinada de la IoT y la computación en nube, hacen posible el desarrollo de una amplia serie de aplicaciones.

Entre todas estas aplicaciones incluyen sistemas de monitoreo remoto para las energías renovables, eólicas, instalaciones solares y de energía hidroeléctrica [69, 70, 71].

Los sistemas de energía renovables deben ser monitoreados constantemente para optimizar el funcionamiento, el control y la integración en los sistemas de energía.

En la referencia [69], se propuso un sistema de monitoreo PV móvil basado en servicios web. El sistema recoge información a través de sensores inalámbricos que están coordinados por un inversor solar. Estos datos se transfieren a un servidor centralizado mediante servicios web.

Una aplicación web, que se encuentra en el servidor, gestiona el sistema fotovoltaico en cualquier momento y lugar. El usuario puede seleccionar los informes diarios, semanales, mensuales e informes anuales. Del mismo modo, es posible comparar los datos técnicos de generación o eléctricos grabados obtenidos de la vigilancia del sistema fotovoltaico.

En el 2009, Sanyo Denki desarrolló un sistema de monitoreo llamado "SANUPS PV Monitor". Este sistema era capaz de monitorear el comportamiento de los sistemas de generación de energía fotovoltaica a través de líneas LAN.

Sin embargo, el sistema de monitoreo tenía algunas deficiencias debido a las limitaciones asociadas con el almacenamiento de datos de medición que sólo era posible en el ordenador utilizando la misma línea LAN en el lugar. Por otra parte, gracias al aumento del número de plantas renovables en muchos países, los propietarios y operadores de instalaciones renovables requieren de sistemas de seguimiento que permitan su operación remota y control, así como la gestión optimizada y la visualización de la información registrada. En respuesta a tales requerimientos, Sanyo Denki desarrolló "SANUPS NET" [70].

Un gran número de pequeñas plantas renovables aisladas están situados en lugares remotos. Los sistemas de comunicación en zonas de difícil acceso por lo general no están disponibles. En casos excepcionales, las señales de

radio GSM o la utilización de la tecnología satelital están disponibles.

En la referencia [71] se propone un sistema de control remoto basado en una infraestructura de cloud computing se aplica a la instalación de energía hidroeléctrica en Rumania. En el tele-monitoreo se utilizan Unidades Remotas (RTU) de telemetría y sensores que monitorizan y transmiten los datos de medición. Cada RTU y el sensor se comunican por radio con una puerta de enlace de datos de telemetría a través de GSM-GPRS e Internet. El dispositivo de puerta de enlace está conectado a un sistema cloud M2M (Machine to Machine). La plataforma en la nube descentralizada está equipada con un software específico para el procesamiento de datos.

5. PROPUESTA DE UNA NUEVA ARQUITECTURA PARA EL MONITOREO REMOTO DE ESTACIONES FOTOVOLTAICAS AISLADAS EN EL ECUADOR BASADO EN IOT Y CLOUD COMPUTING

En esta sección se propone una nueva arquitectura para el control remoto basado en la IoT y la computación en la nube para los sistemas fotovoltaicos aislados en Ecuador. La arquitectura se divide en tres capas (Fig. 4).

La capa de adquisición consiste en una red de sensores que miden diferentes variables de paneles, baterías, reguladores, inversores y la estación meteorológica. La tecnología Zigbee se utiliza con dispositivos Xbee utilizados como esclavos.

Los esclavos Xbee envían la información recogida por los diversos sensores para el nodo central llamado coordinador Xbee. La capa de Pre-tratamiento y grabado consta de una placa Udoo que es un mini PC en la que se puede ejecutar Linux y dentro de este sistema operativo instalar un servidor Apache con una base de datos Mysql para almacenar los datos recogidos.

La placa es un hardware abierto, de bajo costo. Además gracias al programa EURO-SOLAR [3] hay servicio de internet en comunidades aisladas de Ecuador que utilizan la tecnología V-SAT, que permiten la conexión del servidor Udoo con servidor cloud instalado en la Universidad Técnica de Ambato.

La capa de Supervisión, Almacenamiento y Acceso Remoto consta de un servidor nube para el monitoreo de los sistemas fotovoltaicos aislados en Ecuador con el objetivo de ir desarrollando una solución escalable extrema basada en software de código abierto, sensores inalámbricos de bajo consumo, y el paradigma SaaS (Software como un Servicio) para procesar, administrar y publicar la información para al nuevo Centro de Control Solar Ecuatoriano.



Figura 4. Propuesta de Una Nueva Arquitectura para el Monitoreo Remoto de Estaciones Fotovoltaicas Aisladas en el Ecuador Basado En IoT Y Cloud Computing

6. CONCLUSIONES

En este artículo se presenta una arquitectura moderna de un sistema de control remoto que se divide en tres capas: la capa de adquisición, la capa de pretratamiento y de grabación y la capa de almacenamiento y Servicios Web basados en esta clasificación se lleva a cabo una nueva propuesta de arquitectura para sistemas de monitoreo para los sistemas fotovoltaicos aislados en el Ecuador.

Por otra parte, ha realizado una investigación sobre la reseña histórica de los sistemas de monitorización centrada en el análisis de proyectos de monitoreo a distancia y experiencias de las instalaciones fotovoltaicas. Los resultados del análisis permitieron dividir en tres etapas históricas tecnológicas.

- La primera etapa comenzó en 1994 y terminó en 2001. En esta sección, en la mayoría de los proyectos consultados, los inversores son los instrumentos de medición y sistemas de adquisición de datos de instalaciones fotovoltaicas.
- El segundo salto tecnológico se encuentra entre 2002 y 2006. La capa de adquisición y comunicación utiliza sensores específicos para la adquisición de los diferentes parámetros de la instalación fotovoltaica y aparece las tecnologías de la comunicación con el datalogger. Además, se utilizó para la comunicación entre ellos: cableado, GSM y satélite.
- El tercer salto tecnológico es 2007-2014 en el que aparece el uso de redes de sensores para la medición de los parámetros de la instalación fotovoltaica. El uso de la tecnología para la comunicación entre esta red y el registrador de datos se puede citar cableado, comunicación inalámbrica, GSM, ZigBee. En el uso del registrador de datos mediante tarjetas como: National instrument, Arduino y Waspote.

Del mismo modo, en el presente trabajo se describen varias experiencias de las plataformas de sistemas remotos de monitoreo basados en Internet de las Cosas (IoT) y la computación en nube. La integración de la IoT y la computación en nube es un paradigma CloudIoT. En este sentido es importante proponer una arquitectura extensible y flexible para la integración de redes de sensores con las tecnologías de la nube.

Por último, una innovadora arquitectura de los sistemas de seguimiento es propuesta. Las características principales de esta propuesta son:

- El uso de un dispositivos Xbee como sensores inalámbricas de bajo consumo con el fin de recopilar información en tiempo real.
- La conexión de un DataLogger basado en la placa Udoo. Esta placa es un mini PC que puede ejecutar Linux, instalar un servidor Apache con una base de datos Mysql para almacenar los datos recogidos. La placa es un hardware de bajo costo y abierto.
- La puesta en marcha de una plataforma de computación en nube que garantiza la disponibilidad de un conjunto de servicios electrónicos y aplicaciones web que proporciona funcionalidades bajo un paradigma SaaS.

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 Fotovoltaicas en el Ecuador, respectivamente.

REFERENCIAS

- [1] Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo de la República de Ecuador. Plan Nacional de Desarrollo/Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017. 2013.
- [2] Zigor Corporación. Instalación Paragachi, 2013, Disponible en: http://www.zigor.com/co/index.php?option=com_content&view=article&id=191%3Aparagachi&catid=12%3Aempresa&Itemid=163&lang=es.
- [3] Informe de Rendición de Cuentas 2012. Tech. report, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable del Ecuador, 2013.
- [4] Programa EURO-SOLAR: Manual de uso y mantenimiento del sistema solar fotovoltaico comunitario. Manual, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable del Ecuador, June 2010.

- [5] EURO-SOLAR: Energía renovable para el desarrollo. Avance del Programa. Presentation, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable del Ecuador, October 2009.
- [6] M. Armbrust, I. Stoica, M. Zaharia, A. Fox, R. Grith, A.D Joseph, R. Katz, A. Konwinski, G. Lee, D. Patterson, and A. Rabkin. A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, 53(4):50, Abril 2010.
- [7] E. Bayrak, J.P Conley, and S. Wilkie. The economics of cloud computing. *The Korean Economic Review*, 27(2), 2011.
- [8] F. Etro. The economic impact of cloud computing on business creation, employment and output in Europe. *Review of Business and Economics*, 54(2), 2009.
- [9] Meteocontrol Ibérica. SaferSun Professional: Monitorización remota y análisis de rendimiento de plantas fotovoltaicas. Tech. report, April 2013.
- [10] Danfoss Solar Inverters A/S. Remote PV Monitoring: Simple, smart and secure. Tech. report, 2013.
- [11] SMA Ibérica Tecnología Solar. Sistemas de Monitorización Solar. Tech. report, 2013.
- [12] Siemens AG. Siemens PV Monitoring Solutions, 2014.
- [13] Dan Ma. The Business Model of "Software-As-A-Service", page 701 – 702. *IEEE*, 2007.
- [14] I Martínez, L Mora, M Piliouge, and M Sidrach. Software para la monitorización y evaluación de instalaciones fotovoltaicas. In *IV Conf. Latino Americana de Energía Solar y XVII Simposio Peruano de Energía Solar*, 2010.
- [15] M.E Andreoni, F.J Galdeano, and M.G Molina. Implementation of wireless remote monitoring and control of solar photovoltaic (pv) system. In *6th Transmission and Distribution*, pages 1-6. *IEEE*, 2012.
- [16] V.Arcidiacono, S.Corsi, L.Lambri. The Control System of Enel's 3.3 mwp pv plant, Centro Ricerca di Automatica ENEL S.p.A. ITALY, 1994.
- [17] B. Oijaida, P. Veyan and G. Moine. SUNPAC : The Remote Monitoring of Photovoltaic installations, *Transenergie 40 AV. G. Collongue, 69130 Ecully (France), TOTAL ENERGIE, 7 chemin du Plateau, 69570 Dardilly (France)*, 1995.
- [18] S B Riffat, SA Omer, R Wilson. Monitoring of PV Systems at The Centre for Renewable Energy and Eco-energy House, University of Nottingham, 2001.
- [19] Jaime Riesco, Pablo Romera, Pedro Linares. Monitorización y difusión en la Web de la central solar fotovoltaica de la Universidad Pontificia Comillas, 2002.
- [20] Calogero Cavallaro, Angelo Raciti, Antonino Torrisi, Giuseppe Chimento. Reliability Improvement of Photo Voltaic Power Conversion Systems by an Optimal Remote-Management Controller, DEES-IEL, University of Catania, Conphoebus SPA, ENEL Group, 2002.
- [21] Stefan Krauter, Thomas Depping. Satellite Monitoring System for Remote PV Systems, Rio de Janeiro, 2002.
- [22] John H. Scofield, Philippe S. Cohen, Scott Gould. Real-time, Web Based Energy Monitoring System for a Solar Academic Building, Oberlin College, Stanford University, 2004.
- [23] Costas Elmasides, Fotis Stergiopoulos, Theano Karakosta, Panagiotis Sifniadis, Nikos Hatzigiorgiou, Aris Dimeas. Remote Monitoring and Control of a PV-Hybrid system, 4th European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference, 2005.
- [24] Tanya M. Martinez. Remote Monitoring System Design – Sustainable Systems for the Navajo Tribal Utility Authority, University of Massachusetts-Lowell, 2005.
- [25] Li Wang, and Kuo-Hua Liu. Implementation of a Web-Based Real-Time Monitoring and Control System for a Hybrid Wind-PV-Battery Renewable Energy System , Senior Member *IEEE*, 2006.
- [26] S. Makhomo and I. Omar. Remote Monitoring and evaluation of a photovoltaic (pv) Groundwater pumping system, Cape Peninsula University of Technology, Bellville, South Africa, 2006.
- [27] M. Gagliarducci, D.A. Lampasi , L. Podesta. GSM-based monitoring and control of photovoltaic power generation, University of Rome "La Sapienza", Italy, 2007.
- [28] S.Chowdhury, P.Day, G.A.Taylor, P.Chowdhury, T.Markvart, Y.H.Song. Supervisory Data Acquisition and Performance Analysis of a PV Array Installation with Data Logger, Senior Member, *IEEE*, 2007.
- [29] Samuel Lakeou, Ben O. Latigo. Design of a Remote Data Monitoring System for a Solar and Wind Based Renewable Energy Power Source:Application to a Water Delivery Project in a Rural Community, 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1-5 September 2008, Valencia, Spain.
- [30] Javier Vergara Igual. Desarrollo de un Sistema informático De Monitorización de Plantas solares fotovoltaicas, Universidad Rey Juan Carlos, 2009.
- [31] Mohamed Zahran, Yousry Atia, Abdullah Alhosseen, Ihab El-Sayed. Wired and Wireless Remote Control of PV System, 2010.
- [32] Chengmei Lin, Guisheng Jie, Zhenxing Wu, Wanzhi Rui. Design of Networked Monitoring System of PV Grid-Connected Power Plant, Naval University of Engineering, Wuhan, China, 2011.
- [33] Nur Syahidah Husain, Nor Athirah Zainal, Balbir Singh Mahinder Singh, Norani Muti Mohamed, Nursyarizal Mohd Nor. Integrated PV Based Solar Insolation Measurement and Performance Monitoring System, Universiti Teknologi PETRONAS, Tronoh, Perak, 2011.
- [34] Nahana Schellingy, Meredith J. Hassony, Sara Leeun Huongy, Ariel Nevarezy, Paul Wei-Chih Luz, Matt Tierneyz, Lakshminarayanan Subramanianz, Harald Sch'utzeichel. SIMbaLink: Towards a Sustainable and Feasible Solar Rural Electrification System, New York University, 2011.
- [35] Mayamiko Nkoloma, Marco Zennaro, Antoine Bagula. SM2 : Solar Monitoring System in Malawi, Malawi Polytechnic, 2011.
- [36] Y. Rashidi, M. Moallem, S. Vojdani. Wireless Zigbee System for Performance Monitoring of Photovoltaic Panels, Canada, 2011.
- [37] Byung-Ki, Kim, Jea-Bum Park, Jian Shen, Sun-Young Kim and Dae-Seok Rho. Implementation of Monitoring and Control Systems for 50KW PV Systems Using the Wire-Wireless Network, Korea University of Technology and Education, Korea, 2012.
- [38] Fariyah Shariff, Nasrudin Abd Rahim, Hew Wooi Ping. Photovoltaic Remote Monitoring System Based on GSM, Malaysia, 2013.
- [39] Miguel J. Prieto, Alberto M. Pernía, Fernando Nuño, Juan Díaz and Pedro J. Villegas. Development of a Wireless Sensor Network for Individual Monitoring of Panels in a Photovoltaic Plant, Spain, 2014.
- [40] H.-C. Chao. Internet of things and cloud computing for future internet. In *Ubiquitous Intelligence and Computing, Lecture Notes in Computer Science*. 2011.
- [41] J. Zhou, T. Leppanen, E. Harjula, M. Ylianttila, T. Ojala, C. Yu, and H. Jin. Cloudthings: A common architecture for integrating the internet of things with cloud computing. In *CSCWD*, 2013. *IEEE*.
- [42] Alessio Botta, Walter de Donato, Valerio Persico, Antonio Pescapé. On the Integration of Cloud Computing and Internet of Things. University of Napoli Federico II, 2014.
- [43] Doukas Ilias Maglogiann. Bringing IoT and Cloud Computing towards Pervasive Healthcare Charalampos. Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing, 2012
- [44] Angelo P. Castellani, Moreno Dissegna, Nicola Bui, Michele Zorzi. WebIoT: A Web Application Framework for the Internet of Things, Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), *IEEE*, 2012.
- [45] Zhibo Pang, Technologies and Architectures of the Internet-of-Things (IoT) for Health and Well-being., Doctoral Thesis in Electronic and Computer Systems KTH – Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden, January 2013
- [46] Sajjad Hussain Shah , Assad Iqbal, Syed Shaikat Ali Shah. Remote Health Monitoring through an Integration of Wireless Sensor Networks, Mobile Phones & Cloud Computing Technologies, Bahria University, Islamabad, Pakistan, 2013.
- [47] R.Deepa, K.Boopathy. Cloud Care: A Remote Health Monitoring System. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)* Volume 3, Issue 1, January 2014.
- [48] Xi Yu Fuquan Sun, Xu Cheng. International Conference on Computer Science and Service System Intelligent Urban Traffic Management System Based on Cloud Computing and Internet of Things, 2012.
- [49] Alexandru Vulpe, Gyorgy Todoran, Janna Cropotova, Victor Suci, George Suci. Cloud Computing and Internet of Things for Smart, City Deployments, International Conference : CKS - Challenges of the Knowledge Soc;2013, p1409, 2013.
- [50] George Suci, Alexandru Vulpe, Simona Halunga, Octavian Fratu, Gyorgy Todoran, Victor Suci. Smart Cities Built on Resilient Cloud Computing and Secure Internet of Things, 19th International Conference on Control Systems and Computer Science, 2013.
- [51] Cui Wenshun; Yuan Lizhe; Cui Shuo; Shang Jiancheng. Information and Control Design and Implementation of Sunlight Greenhouse Service Platform Based on IOT and Cloud Computing, 2nd International Conference on Measurement, 2013.
- [52] Moataz Soliman, Tobi Abiodun, Tarek Hamouda, Jiehan Zhou, Chung-Hong Lung. Smart Home: Integrating Internet of Things with Web Services and Cloud Computing, *IEEE International Conference on Cloud Computing, Technology and Science*, 2013.

-
- [53] Wu He; Gongjun Yan; Li Da Xu. Developing Vehicular Data Cloud Services in the IoT Environment Industrial Informatics, IEEE Transactions on (Volume:10 , Issue: 2),2014.
- [54] Javier Cubo, Adrián Nieto, Ernesto Pimentel. A Cloud-Based Internet of Things Platform for Ambient Assisted Living,2014.
- [55] Wenyong Zeng, Chao Huang, Banxiang Duan, Fagen Gongong. Research on Internet of Things of Environment Monitoring Based on Cloud Computing, 2012.
- [56] Mohammad Aazam, Imran Khan, Aymen Abdullah Alsaffar, Eui-Nam Huh Cloud of Things: Integrating Internet of Things and Cloud Computing and the Issues Involved, 2014.
- [57] Luigi Atzori, Antonio Iera , Giacomo Morabito c. The Internet of Things: A survey, 2010.
- [58] Jayavardhana Gubbi, Rajkumar Buyya, Slaven Marusic, Marimuthu Palaniswami. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions, 2013.
- [59] Sunil Kumar Vuppala, Kiran Kumar HS. Service Applications – Exploiting the Internet of Things, SRII Global Conference, 2014.
- [60] Internet of Things – From Research and Innovation to Market Deployment. River Publishers Series in Communication, 2014.
- [61] Shen Bin, Liu Yuan, Wang Xiaoyi. Research on Data Mining Models for the Internet of Things, International Conference, 2010.
- [62] Mir Saleemullah Jamali¹, Pardeep Kumar² and Umair Ali Khan² Internet of Things: Architecture & Integration with Other Networks. First International Conference on Modern Communication & Computing Technologies (MCCT'14), 2014.
- [63] Rajeev Piyare, Seong Ro Lee. Towards Internet of Things (IoT). International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC) Vol.5, No.5, September 2013.
- [64] Swath B.S, Dr. H S Guruprasad. Integration of Wireless Sensor Networks and Cloud Computing. Seventh International, 2011.
- [65] M. Armbrust, I. Stoica, M. Zaharia, A. Fox, R. Griffith, A.D Joseph, R. Katz, A. Konwinski, G. Lee, D. Patterson, and A. Rabkin. A view of cloud computing. Communications of the ACM, 53(4):50, April 2010.
- [66] Q. Zhang, L. Cheng, and R. Boutaba. Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. Journal of internet services and applications, 1(1):7–18, 2010.
- [67] Han Qi, Abdullah Gani. Research on Mobile Cloud Computing: Review, Trend and Perspectives. Second International Conference on Digital Information and Communication Technology and its Applications (DICTAP), pp. 195-202, 2012.
- [68] Abraham E. Eviwiekpaefe, Fiyinfoluwa Ajakaiye. The trend and challenges of cloud computing: a literature review,2014.
- [69] Y. Ryu, J. Yoo, and Y. Kim. Cloud services based Mobile monitoring for Photovoltaic Systems. In 4th Int. Conf. onmCloud Computing Tech. And Science, pages 578–580, 2012.
- [70] Kenji Higuchi, Koichi Hayashi, Shinji Kondo. Development of a Photovoltaic Power Generation System Condition Monitoring Service “Sanups Net”, Sanyo Denki Technical Report No.36 Nov. 2013.
- [71] George Suciú, Simona Halunga, Octavian Fratu Andrei Vasilescu, Victor Suciú Study for Renewable Energy Telemetry using a Decentralized Cloud M2M System, 16th International Symposium on 2013.