

# Servidor Web Embebido aplicado a microrredes fotovoltaicas

## Trabajo Terminal No. \_\_\_\_ - \_\_\_\_

*Alumnos: Armas Santillán Oscar, Reyes Vilchis Juan Jose de Jesus, \*Sánchez Piña César Saulo*

*Directores: Ortega García Victor Hugo, Ortega Gonzáles Rubén*

*\*e-mail: csanchezp1300@alumno.ipn.mx, cesar.saulo.u2@gmail.com*

**Resumen** - Las microrredes eléctricas cada vez tienen una mayor presencia con el aumento de producción, distribución de celdas fotovoltaicas, es por esto que su monitorización cada vez se vuelve una tarea más difícil de llevar a cabo. En este trabajo se implementará un prototipo de servidor web embebido, este servidor se implementará en un sistema en chip (SoC - System on Chip) basado en Linux, el cual recibirá la información de un sensor de voltaje y corriente que estará monitoreando una microrred fotovoltaica.

**Palabras Clave:** Microrred fotovoltaica, nodo sensor, servidor web embebido, sistemas embebidos

## 1. Introducción.

El uso de la energía eléctrica, encaminada a la satisfacción de una demanda en constante crecimiento, tiene ante sí dos graves problemas: el agotamiento de las fuentes de energía convencionales y la pérdida, cambio o deterioro de otros valores naturales como el medio ambiente, el clima o el paisaje [1]. Actualmente los países están actuando para incrementar y diversificar la cantidad de fuentes de energía para reducir la cantidad de problemas que estas ocasionan. Un ejemplo de ello es lo que ocurre en México, de acuerdo a la Asociación Mexicana de Energía Solar (Asolmex), la energía solar incrementó en un 13% en el 2018 [2], siendo así la energía fotovoltaica una de las fuentes renovables más accesibles y eficientes para su uso.

Una de las fuentes para producir Energía Limpia es mediante paneles solares, los cuales han estado disponibles a partir de mediados de los años 50, esto a raíz de la investigación científica del efecto fotovoltaico que se inició en 1839, cuando el científico francés, Henri Becquerel descubrió que una corriente eléctrica podría ser producida haciendo brillar una luz sobre ciertas soluciones químicas, es decir que cuando esta era expuesta al sol aumentaba su capacidad generadora de electricidad.

El funcionamiento de los paneles solares se basa en el efecto anteriormente mencionado, el cual se produce cuando, sobre materiales semiconductores convenientemente tratados, le incide la radiación solar produciendo electricidad [3].

Como consecuencia al uso creciente de estas celdas fotovoltaicas, se han hecho varias investigaciones con el propósito de obtener avances significativos, de los cuales destaca el realizado por el Instituto de Investigación Fraunhofer en Europa que se ha enfocado en mejorar su eficiencia y rendimiento tomando como punto de referencia al llamado "límite de eficiencia", el objetivo consiste en obtener un potencial de eficiencia de hasta el 50 por ciento bajo luz solar concentrada en los nuevos paneles solares, para posteriormente asegurar garantías de calidad, eficiencia y eficacia del comportamiento de los paneles solares en la generación de energía eléctrica frente a factores y variables como el calor, la arena, el polvo, las tormentas, entre otros elementos que afecten al rendimiento.[3]

Es por ello que resulta común que los usuarios de paneles solares se interesen por medir la producción de energía, así como ver el reflejo del beneficio obtenido por la implementación de un sistema de energía limpia.

Para esto se necesita monitorear la potencia activa que el sistema fotovoltaico está generando, para que así el usuario pueda consultar dicha información con el objeto de tener en continua observación al sistema fotovoltaico y así conocer cuál es la generación de energía en distintos periodos de tiempo y atender de manera inmediata los posibles fallos que puedan interrumpir la generación de energía; contribuyendo como consecuencia a la disminución de pérdida de producción de energía, así como brindar un registro histórico de la producción de energía del sistema fotovoltaico.

Actualmente, existen interfaces que permiten la conexión e incorporación de diversas fuentes de generación de energía a la red eléctrica, a tales interfaces se les conoce con el nombre de microrredes fotovoltaicas [4]. Este nuevo esquema de generación se caracteriza por la flexibilidad y autonomía con la que operan estas microrredes. Es decir, que, en caso de fallos de la red de distribución, estas puedan proporcionar energía directamente al usuario, siendo con esto más flexibles que los esquemas de distribución de energía ya existentes.

Para realizar el monitoreo de las microrredes fotovoltaicas se pueden emplear tecnologías de comunicación alámbricas e inalámbricas. En la división de tecnologías inalámbricas se encuentran las redes de sensores inalámbricas (WSN – Wireless Sensor Network). A continuación, se hace mención de algunos de los trabajos de investigación que hacen referencia al uso de estas tecnologías:

En [5] el sistema realiza el monitoreo y control de una microrred simulada, donde el modelo de microrred es simulado por medio de MATLAB en una computadora, se ocupa un DAC (Acondicionador de señales y convertidor Analógico-Digital) para obtener los datos generados y son enviados a un PLC (Controlador Lógico Programable) que está conectado al DAC, este se encarga de guardar y escanear continuamente las variables de la microrred para ser monitoreadas en el sistema SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos)

En [6] se realiza el monitoreo autónomo de voltaje y corriente con el propósito de alertar fallas de cortocircuito, descargas o sobrealimentación de voltaje, también tiene la capacidad de controlar circuitos de protección cuando estas fallas acontezcan, esto es logrado colocando transductores (en este caso, sensores de efecto Hall) en las áreas de interés de la microrred, el acondicionamiento de la señal y procesamiento están a cargo de un microcontrolador, el envío de los datos adquiridos por medio de un arduino uno y un módulo de internet y finalmente enviando los datos a la plataforma de IoT Ubidots.

En [7] propone un sistema de gestión de microrredes basado en WiFi, donde el sistema de control y sensado de la microrred es manejado por un software ya existente y sensores de potencia eléctrica (en conjunto denominado como Dispositivo de control) que está conectado por medio de un cable ethernet a un módulo inalámbrico que enviará los datos a un Router que se encargará de capturar los datos de los módulos conectados a la WLAN (Red de Área Local Inalámbrica) para que el servidor los almacene en la base de datos y puedan ser accedidos posteriormente

A continuación se muestra una tabla comparativa algunos sistemas que se han desarrollado y cumplen con un propósito similar a la propuesta en el presente Trabajo Terminal:

Proyecto	Tipo de comunicación	Medio para visualizar información	Servidor
Monitoring and control of real time simulated microgrid with renewable energy sources.	WSN (Red de sensores inalámbrica) simulada	MATLAB-SIMULINK	No aplica
IoT based automated protection and control of DC microgrids	WSN (Red de sensores inalámbrica)	SMS, e-mail	No aplica
Wi-Fi Based Server in Microgrid Energy Management System	Wi-Fi en una WLAN (Red de Área Local Inalámbrica)	MEMS (Microgrid Energy Management System) Software ya existente	No aplica
Servidor Web Embebido aplicado a microrredes fotovoltaicas	WSN (Red de sensores inalámbrica)	Tableros de información web	Web embebido

## 2. Objetivo

Implementar un prototipo de servidor web embebido con aplicación a microrredes fotovoltaicas, que permita obtener de manera remota información referente a la energía que está siendo producida por cada nodo sensor

Objetivos específicos:

- Configuración del sensor para medir corriente y voltaje de la celda fotovoltaica
- Diseño de sistema embebido
- Implementación de un módulo de comunicación
- Implementación del servidor web embebido

## 3. Justificación.

Las tendencias actuales en el suministro y uso de energía son insostenibles, económica, ambiental y socialmente. Si bien es claro que existen diversas razones por las cuales este problema se ha agravado, si no se toma una acción decisiva respecto a la energía, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) conducirán a una considerable degradación climática con un promedio 6 ° C de calentamiento global. El hecho de que la generación de energías a base de productos fósiles y otros medios perjudiciales, es de los principales factores que aceleran el proceso del calentamiento del planeta, nos pone ante un panorama en el que podemos y debemos cambiar el camino en el que se produce energía y las tecnologías energéticas jugarán un papel crucial en este cambio [8].

El incremento en el uso de fuentes de energía renovables en la actualidad tiene cada vez mayor relevancia debido a que en países como México, tiene un costo inferior de obtención en comparación con los combustibles fósiles [2], gracias al progreso que se ha logrado en este campo, la utilización de energía solar incrementó en un 13 % en México en el 2018 [3], siendo así la energía fotovoltaica una de las fuentes renovables más accesibles y eficientes para su aplicación en proyectos de pequeña o gran magnitud.

La energía fotovoltaica es una de las tecnologías emergentes más prometedoras. El costo de módulos fotovoltaicos se ha reducido hasta cinco veces en los últimos seis años. El costo de sistemas fotovoltaicos es inferior al costo de sistemas eléctricos habituales. Esto implica que los sistemas fotovoltaicos pueden competir directamente [8].

Algunas tecnologías existentes para monitorizar la energía eléctrica generada por dispositivos de energía sustentable en una microrred fotovoltaica carecen de la capacidad de registrar los datos obtenidos y una forma de comunicación óptima. Esto dificulta comprobar cuánta energía ha sido generada por la microrred cada cierto periodo de tiempo como lo es por segundo, minuto, hora, día, semana, etc. Esto impide que dueños de una microrred obtengan de una manera sencilla la información necesaria para asegurarse de cuánta energía eléctrica se ha producido.

Tomando en cuenta lo anterior, el diseño e implementación de un prototipo de un sistema web embebido para el monitoreo de microrredes fotovoltaicas aportaría una solución para una mejor gestión de la energía obtenida por fuentes renovables, haciendo uso del internet de las cosas (IoT).

#### 4. Productos o Resultados esperados.

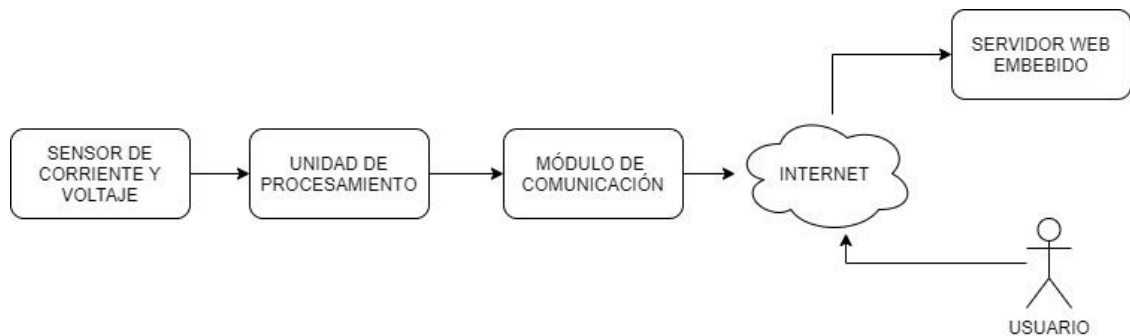


Figura 1. Diagrama a bloques de la arquitectura

A continuación se explican los componentes del diagrama a bloques de la Figura 1.

- Sensor de corriente y voltaje: Se tendrá un sensor de corriente y voltaje configurado que pueda recopilar información sobre las celdas fotovoltaicas al que esté conectado.
- Unidad de Procesamiento: Está se encargará de procesar la señal del sensor para poder ser enviada al servidor web embebido.
- Módulo de comunicación: Este módulo tendrá la función de enviar la señal procesada al servidor Web Embebido.
- Servidor Web Embebido: Se encargará de recopilar toda la información de todos los sensores de la micro red eléctrica y además proporcionará mecanismos (Dashboards) para poder visualizar la información.

Los productos de este trabajo terminal serán:

- Nodo sensor para adquirir valores de corriente y voltaje
- Servidor web embebido
- Documentación técnica
- Manual de usuario

#### 5. Metodología.

Para el desarrollo del sistema se tomará como base la metodología en V (Figura 2). Se elige esta metodología debido a que el sistema a realizar se compone tanto de software como de hardware, por lo que las etapas que la conforman se adecuan perfectamente para el desarrollo de esta clase de sistemas.

La metodología indica que se debe de partir de la especificación de requisitos tanto para software como para hardware, en esta etapa se definen los requerimientos funcionales, técnicos y no funcionales, trazando un plan para el diseño del sistema mediante casos de uso, comprendiendo las limitaciones, identificando el impacto del mismo y previendo posibles cambios. En la siguiente etapa se realiza un diseño de alto nivel con base en la información recogida sobre requisitos y análisis, permitiendo obtener un diseño y una visión general del sistema. A continuación, se realiza un diseño en detalle, donde veremos al sistema de manera modular, teniendo así la ventaja de rediseñar un módulo en específico, hacer cambios de manera efectiva y reducir costos por modificaciones futuras. Posteriormente, el diseño es implementado con el lenguaje de programación elegido para cada módulo, obteniendo programas ejecutables capaces de ofrecer la funcionalidad esperada.



## 8. Alumnos y Directores

### ALUMNOS

*Armas Santillán Oscar.*- Alumno de la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales en ESCOM, Especialidad Sistemas, Boleta: 2014100116, Tel.6661873075, email stiksnaki@gmail.com  
Firma: \_\_\_\_\_

*Reyes Vilchis Juan Jose de Jesús.*- Alumno de la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales en ESCOM, Especialidad Sistemas, Boleta: 2014101419, Tel.5581662941, email maylo360xd@gmail.com  
Firma: \_\_\_\_\_

*Sánchez Piña Cesar Saulo.*- Alumno de la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales en ESCOM, Especialidad Sistemas, Boleta: 2014131198, Tel. 5562561862, email cesar.saulo.u2@gmail.com  
Firma: \_\_\_\_\_

### DIRECTORES

*Ortega González Rubén .-* Recibí el grado de licenciatura en ingeniería eléctrica por el Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México, 1999, el grado de M.Sc. en ingeniería de sistemas en el Instituto Politécnico Nacional, México, el de M.Sc. en ingeniería eléctrica, electrónica de computadores y sistemas de la Universidad de Oviedo, Oviedo, España, en 2009. El grado de Ph.D con mención honorífica en ingeniería electrónica por la Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, en 2012. He sido profesor en la Escuela Superior de Cómputo, Instituto Politécnico Nacional desde 1995. Mis principales campos de investigación son en el modelado y control de convertidores de potencia aplicados en la generación de energía en el ámbito de las microrredes, smart grids y energías renovables, así como procesamiento digital de señales. email: rortegag@ipn.mx  
Firma: \_\_\_\_\_

*Víctor Hugo García Ortega.*- Ing. en Sistemas Computacionales egresado de la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional (IPN-1999). Maestría en Ingeniería de Cómputo con especialidad en Sistemas Digitales en el Centro de Investigación en Computación del IPN (2006). Actualmente es profesor Titular en la Escuela Superior de Cómputo del IPN trabajando en el área de Sistemas embebidos, Arquitectura de Computadoras y Procesamiento Digital de Imágenes y Señales. e-mail: vgarciaortega@yahoo.com.mx, vgarciao@ipn.mx.  
Firma: \_\_\_\_\_

CARÁCTER: Confidencial  
FUNDAMENTO LEGAL: Artículo 11 Fracc. V y Artículos 108, 113 y 117 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.  
PARTES CONFIDENCIALES: Número de boleta y teléfono.

## Anexo 1

Nombre del alumno: Sánchez Piña Cesar Saulo

TT No.:

Título del TT: Servidor Web Embebido aplicado a microrredes fotovoltaicas

Actividad	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Análisis de sensores de corriente y voltaje										
Diseño del programa de configuración del sensor de corriente y voltaje										
Análisis de la trama de comunicación										
Diseño de la trama de comunicación										
Evaluación de TT I										
Implementación del programa de configuración del sensor de corriente y voltaje										
Pruebas unitarias del programa de configuración del sensor de corriente y voltaje										
Pruebas de integración del programa de configuración del sensor de corriente y voltaje										
Implementación de las tramas de comunicación										
Pruebas unitarias de las tramas de comunicación										
Pruebas de integración de las tramas de comunicación										
Test operacional del sistema										
Evaluación TT II										

Nombre del alumno: Armas Santillán Oscar

TT No.:

Título del TT: Servidor Web Embebido aplicado a microrredes fotovoltaicas

Actividad	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Análisis de sistemas embebidos										
Diseño del sistema embebido										
Análisis de módulos de comunicación										
Diseño del programa de configuración del módulo de comunicación										
Evaluación de TT1										
Implementación del sistema embebido										
Pruebas unitarias del sistema embebido										
Pruebas de integración del sistema embebido										
Implementación del programa de configuración del módulo de comunicación										
Pruebas unitarias del programa de configuración del módulo de comunicación										
Pruebas de integración del programa de configuración del módulo de comunicación										
Test operacional del sistema										
Evaluación de TT II										



Nombre del alumno: Reyes Vilchis Juan Jose de Jesus

TT No.:

Título del TT: Servidor Web Embebido aplicado a microrredes fotovoltaicas

Actividad	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Análisis de servidores web embebidos										
Diseño del servidor web embebido										
Evaluación de TT I										
Implementación del servidor web embebido										
Pruebas unitarias del servidor web embebido										
Pruebas de integración del servidor web embebido										
Test operacional del sistema										
Evaluación de TT II										

## Alumnos:

- 
- 

**Oscar Armas Santillán**

24 may 2021 20:18 (hace 12 horas) ☆

Estoy de acuerdo, acuso de recibido, gracias. El lun, 24 may 2021 a las 20:01, Saulo (<cesar.saulo.u2@gmail.com>) escribió: Hola a todos, por medio del presente
- 
- 

**Saulo** <cesar.saulo.u2@gmail.com>

9:09 (hace 0 minutos) ☆ ↩ ⋮

para mí ▾

Estoy de acuerdo.  
Saludos
- 
- 

**Juan Jose Reyes**


lun, 24 may 20:14 (hace 12 horas) ☆ ↩ ⋮

para mí, Oscar, RUBEN, agc.escom, jdavalosl, mdorantesg, nvegag0126, vgarciaio ▾

Estoy de acuerdo, acuso de recibido, gracias.

...

## Directores:


- 
- 

**Victor Hugo García Ortega**

8:37 (hace 36 minutos) ☆ ↩ ⋮

para mí ▾

Enterado del cambio, de acuerdo.


Saludos
- 
- 

**Nayeli Vega** <nvegag0126@gmail.com>

8 nov 2020 16:30 ☆ ↩ ⋮

para mí ▾

Buenas tardes  
Estoy de acuerdo

...
- 
- 

**Ruben Ortega Gonzalez** <rortegag@ipn.mx>

dom, 23 may 2021 12:59 ☆ ↩ ⋮

para mí ▾

Acuso de recibido

Atentamente

Prof. Rubén Ortega González