

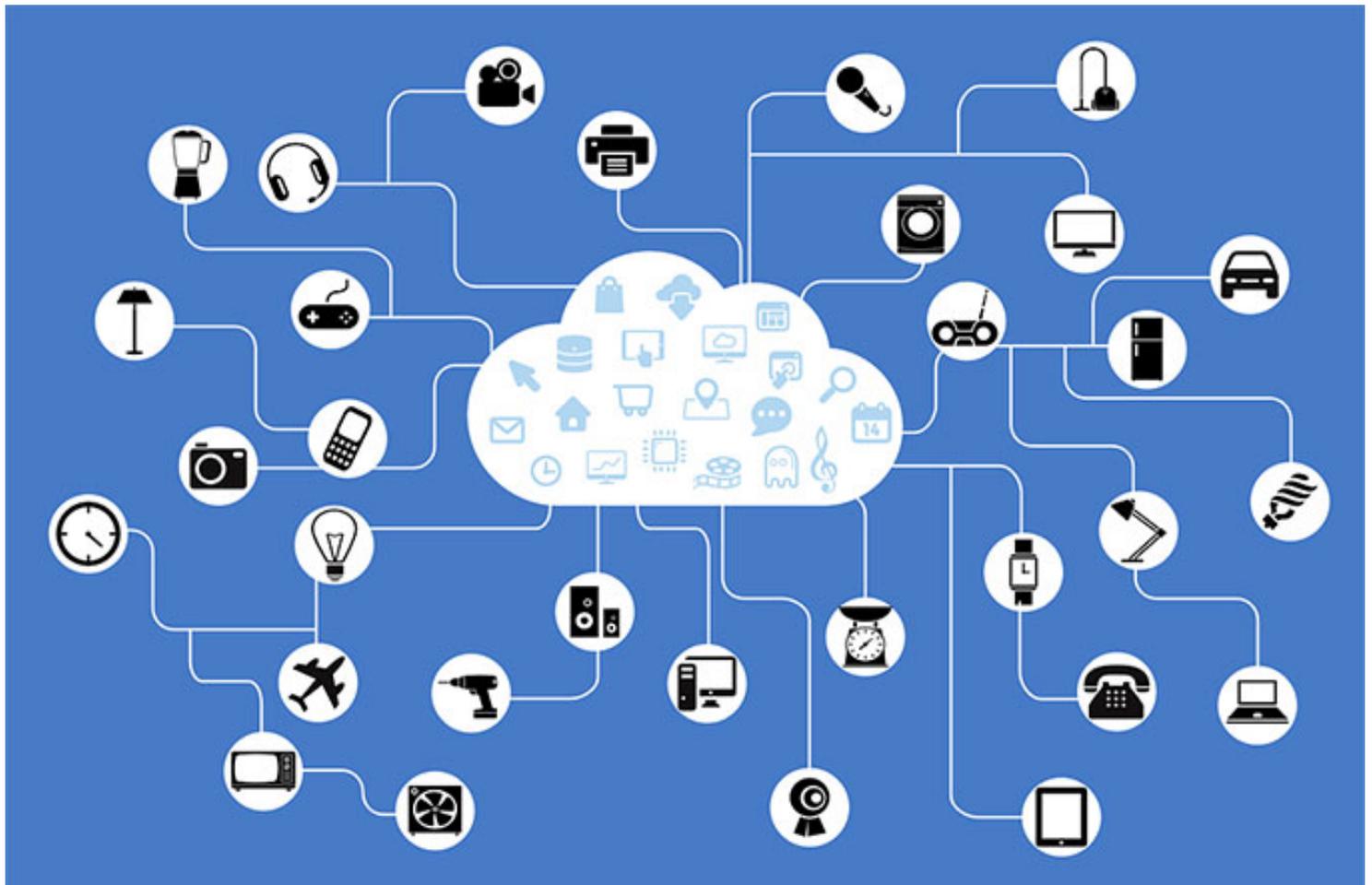


DIFU 100Ci@



REVISTA DE DIFUSIÓN CIENTÍFICA

INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS



DIFU100ci@ (léase difuciencia) Vol. 13, No.3, Septiembre - Diciembre 2019, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Autónoma de Zacatecas, “Francisco García Salinas”, a través de la Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica. Jardín Juárez No. 147, Colonia Centro, Zacatecas, Zacatecas, C.P. 98000. Tel. (01 492) 925 6690. <http://difu100cia.uaz.edu.mx>. Editor responsable: Jorge Flores Troncoso, email: jflorest@uaz.edu.mx.

Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-060212215100-203, ISSN: 2007-3585, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número Jorge Flores Troncoso, López Velarde 801, Colonia Centro, Zacatecas, Zacatecas, C.P. 98000. Fecha de última actualización 20 de diciembre de 2019. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma de Zacatecas “Francisco García Salinas” a través de la Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica.

Producción

**Universidad Autónoma de Zacatecas
"Francisco García Salinas"**

Diseño y Producción

Jorge Flores Troncoso

Diseño de Portada

José Ricardo Gómez Rodríguez

D.R. de la Presente Edición

**Universidad Autónoma de Zacatecas
"Francisco García Salinas"**

**López Velarde 801, Centro
98010 Zacatecas, Zac. México**

ISSN 2007-3585

DIFU100ci@ (léase difucencia) Vol. 13, No.3, Septiembre - Diciembre 2019, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Autónoma de Zacatecas, "Francisco García Salinas", a través de la Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica. Jardín Juárez No. 147, Colonia Centro, Zacatecas, Zacatecas, C.P. 98000. Tel. (01 492) 925 6690. <http://www.uaz.edu.mx>, <http://difu100cia.uaz.edu.mx>. Editor responsable: Jorge Flores Troncoso, email: jflorest@uaz.edu.mx.

Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-060212215100-203, ISSN: 2007-3585, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número Jorge Flores Troncoso, López Velarde 801, Colonia Centro, Zacatecas, Zacatecas, C.P. 98000. Fecha de última actualización 20 de diciembre de 2019.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma de Zacatecas "Francisco García Salinas" a través de la Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica.

Hecho en México
Made in Mexico

Directorio

Dr. Antonio Guzmán Fernández Rector
Dr. Rubén de Jesús Ibarra Reyes Secretario General
Dr. Luis Alejandro Aguilera Galavíz Secretario Académico
Dr. Agustín Serna Aguilera Secretario Administrativo
Dr. Manuel Reta Hernández Coord. Investigación y Posgrado
Dra. Georgia Aralu González Pérez Coord. Depto. Editorial

Editores Ejecutivos

Jorge Flores Troncoso, Editor en Jefe, UAZ, México
Manuel Reta Hernández, UAZ, México
Remberto Sandoval Aréchiga, UAZ México
Claudia Sifuentes Gallardo, UAZ, México

Editores Asociados

Salvador Ibarra Delgado, UAZ, México
Israel Alejandro Arriaga Trejo, CONACyT-UAZ, México
Juvenal Villanueva Maldonado, CONACyT-UAZ, México
Jorge Simón Rodríguez, CONACyT-UAZ, México
Viktor Iván Rodríguez Abdalá, UAZ México
José Ricardo Gómez Rodríguez, UAZ México

Grupo Revisor

Oliver Joekisch, University of Applied Sciences, Germany
Ding Hongwei, Tongji University, China
Robert Weissbach, Penn State Erie, The Behrend College
Naim Logic, Arizona Public Service
Leonardo Acho Zuppa, U Politècnica de Catalunya, España
Miguel Andrés, U. de Valencia, España
Manuel Hernández Calviño, Universidad de La Habana, Cuba
Luis C. García Santander, Universidad de Concepción, Chile
José Ángel González Fraga, UABC, México
Omar Álvarez Xochihua, UABC, México
Ramón Parra Michel, CINVESTAV, México
Leonel Soriano Equigua, FIME-UColima, México
José Luis Álvarez Flores, FIME-UColima, México
Geminiano D. Martínez Ponce, CIO, México
Jaime Sánchez García, CICESE México
Salvador Villarreal Reyes, CICESE, México
Enrique Pacheco Cabrera, AEM, México
Ernesto García Domínguez, UAZ México
Rafael Villela Varela, UAZ México
Jorge de la Torre y Ramos, UAZ México

Contenido

Editorial	p. 1
Red de comunicación para mensajería sin cobertura de Internet o red móvil a través de dispositivos móviles	pp. 2-8
Medición de parámetros que influyen en el desempeño de un sistema fotovoltaico	pp. 9-15

Editorial

La revista *DIFU*₁₀₀*ci*@ es una revista cuatrimestral que comenzó su publicación oficial en 2005. En mayo del 2012, la revista *DIFU*₁₀₀*ci*@ adquirió el ISSN.

Desde entonces, se pretende contribuir a la difusión del conocimiento de la comunidad académica tanto nacional como internacional mediante la difusión de resultados de investigación de alta calidad. La Revista se centra en obras originales, que incluyen principalmente los estudios experimentales, análisis numéricos, estudios de casos y revisiones bibliográficas que proporcionan una significativa contribución a las áreas de ingeniería y tecnología en todas las disciplinas (Electrónica, Eléctrica, Ciencias de la Computación, Mecatrónica, Robótica, Telecomunicaciones, Procesamiento de señales, Ingeniería Industrial, Ingeniería de Control, y Bioingeniería).

Desde el comienzo, la revista ha buscado la mejora de los artículos aceptados para su publicación por un proceso de evaluación por pares o árbitro de los manuscritos recibidos. Estas evaluaciones son llevadas a cabo por expertos de reconocido prestigio por sus conocimientos y logros académicos, con el objetivo de asegurar que las publicaciones seleccionadas están contribuyendo al estado del arte en diferentes áreas de interés. Además, desde su inicio, la revista se ha abierto a los estudiantes y académicos a través del Sistema Open Journal, facilitando todo el proceso de presentación y publicación.

Agradezco a los autores y revisores, que se esfuerzan para mejorar la calidad de los manuscritos. Exhorto a todos los investigadores, académicos y estudiantes en las áreas de ingeniería y tecnología para que continúen sometiendo sus artículos en nuestra revista y contribuir a la noble difusión de la ciencia y la tecnología.

Jorge Flores Troncoso
Editor en Jefe, Revista *DIFU*₁₀₀*ci*@
Universidad Autónoma de Zacatecas

Red de comunicación para mensajería sin cobertura de Internet o red móvil a través de dispositivos móviles

Manuel Alejandro Castro Espinoza^a, Diego Alejandro González Cosío^a, Jonhatan Alejandro Reyes Gracia^a, Juan Pablo Morales Álvarez^a, Daniel Armando Hiraes Valles^a

^aTecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de La Paz,
Departamento de Metal Mecánica.
Blvd. Forjadores de B.C.S. Núm. 4720. Col. 8 de octubre 1ra. Sección. C.P. 23080. La Paz, B.C.S.
juan.ma@lapaz.tecnm.mx

2019 Published by DIFU_{100ci}@ <http://difu100cia.uaz.edu.mx>

Resumen

Se describe el proceso para el intercambio de información entre Bluetooth y LoRa para la creación de un canal que permita la comunicación desde un dispositivo móvil sin la cobertura de red celular. Se muestra el diseño del circuito electrónico y de una carcasa para la portabilidad del prototipo, así como su montaje final. Se analiza la teoría sobre LoRa por medio de experimentos que llevan a definir los alcances que tiene al ser expuesto a distintos ambientes. Se exponen resultados de pruebas de cobertura, realizadas en un escenario real con características del protocolo específicas, incluyendo un análisis de pérdidas de mensajes con el cual se estima la confiabilidad de la red.

Palabras clave: Red LoRa, Bluetooth, Bluetooth/LoRa

1. Introducción

Hoy en día la sociedad tiene la necesidad de estar comunicada en todo momento, siendo el Internet y/o la red móvil importante para el estilo de vida actual. Se cuenta con 83.1 millones de usuarios de telefonía celular, lo cual es el 73.5 % del total de las personas con una edad de entre seis años o más. Dejando con ello a 29.9 millones de personas desconectadas, un 26.5% de este total [1]. El número de usuarios en México conectados a Internet, es de 74.3 millones de personas que se conectan de algún modo[1]. El indicador del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) dentro de los indicado-

res de carencia social, el indicador carencia por acceso a los servicios básicos en la vivienda indica 2 que en el 2016 23.7 millones de personas se encontraban en este indicador y para el 2018 aumentó a 24.7 millones de personas en este tipo de pobreza[2]. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura en su informe México rural del Siglo XXI de 2018[3], establece que la población rural representa el 23 % de la población de México, la Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica (ENADID) 2018 indica que residen 124.9 millones de personas en México, y 28.7 millones viven en alguna población rural[4]. Con lo anterior se deduce que durante el 2018 de las 29.9 millones de personas sin teléfono celular, 28.7 millones viven

en zonas rurales y 24.7 millones carecen de servicios básicos.

Para el desarrollo de este sistema de mensajería, se expondrán los resultados de pruebas hechas en distintos escenarios de comunicación para determinar las ventajas que tiene en cuanto a funcionamiento y eficiencia, el uso de la tecnología Bluetooth/LoRa.

2. Justificación

El desarrollo tecnológico de los últimos años ha tenido impacto para la sociedad en diferentes aspectos, siendo uno de los más importantes la comunicación, ya sea mediante Internet y/o conexión móvil la gran mayoría de la población mundial se encuentra en constante comunicación entre sí, gracias a la infraestructura conformada por sistemas de postes, cableados y antenas, que por lo general se ubican exclusivamente en zonas urbanizadas donde se concentra la mayoría de la población y por razones de costos o complejidad de las instalaciones, normalmente se excluyen aquellas zonas que se encuentran muy retiradas o con baja densidad de residentes. La importancia de la creación de un dispositivo de mensajería instantánea que no utilice la red celular es satisfacer la necesidad de estar comunicado bajo cualquier circunstancia en la que no se cuente con la cobertura móvil. El canal de comunicación Bluetooth/LoRa permite a los dispositivos móviles no someterse a pagos de renta para el uso de la red móvil al crearse una propia, sumado a que no tiene costos de instalación por lo que podría ser utilizado aunque se cuente con la cobertura celular. Alcanzar distancias mayores a 1 km dentro de la ciudad y mayores a 5 km en espacios despejados permite desarrollar una red que cubra las áreas que no se encuentran dentro de la cobertura celular y puedan ser comunicadas con la ciudad, lo que permite desarrollar actividades en estas zonas sin la inseguridad que representa estar en ellas debido a la incomunicación.

3. Redes inalámbricas

Las redes inalámbricas son redes que utilizan ondas de radio para conectar los dispositivos funcionando de manera similar a las redes cableadas [5], sin embargo, las redes inalámbricas deben convertir las señales que contienen información en una forma adecuada para la transmisión a través del espacio. La infraestructura inalámbrica en comparación con la alternativa cableada tradicional permite a los dispositivos remotos conectarse sin dificultad [5].

La Fig. 1 muestra un diagrama que clasifica las redes inalámbricas según su alcance y tasa de transferencia de datos.

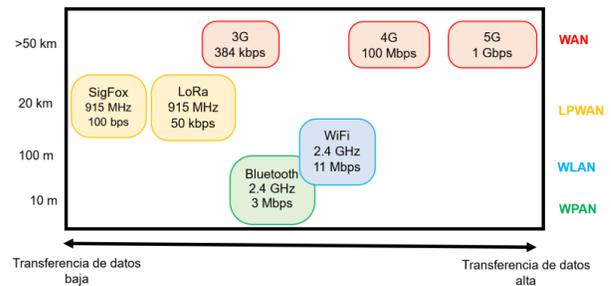


Figura 1. Clasificación de redes inalámbricas según alcance y tasa de transferencia. [6]

3.1. Red de amplia cobertura y baja potencia.

Existen múltiples propuestas de redes Low-Power Wide Area Network (LPWAN, por sus siglas en inglés), casi todas ellas presentan características comunes:

- Operar en la banda libre ISM por debajo de 1 Ghz. Este tipo de señales presentan un menor factor de atenuación al atravesar obstáculos respecto a la banda libre ISM de 2.4 Ghz.
- Poseer esquemas de modulación que posibilitan la creación de enlaces de varios kilómetros en zonas urbanas y de decenas de kilómetros en zonas rurales con muy bajo coste energético.

Si bien hay varias redes o propuestas de redes LPWAN que cumplen los requisitos iniciales para el Internet of Things (IoT), las empresas que en la actualidad tienen soluciones completas en el mercado son: Sigfox con su protocolo del mismo nombre y LoRa Alliance, con su protocolo LoRa (Long Range) [7].

3.2. LoRa

La capa física LoRa, desarrollada por Semtech, permite comunicaciones de largo alcance, baja potencia y bajo rendimiento. Opera en las bandas ISM de: 868 MHz (Europa) a +14 dBm como máximo, 915 MHz (América del Norte y del Sur, Australia y Nueva Zelanda) a un máximo de 20 dBm, 433 MHz (Europa) a un máximo de 10dBm. La carga útil de cada transmisión puede oscilar entre 2-255 octetos y la velocidad de datos puede alcanzar hasta 50 Kbps cuando se emplea la agregación de canales [8]. Muchos sistemas inalámbricos usan modulación por desplazamiento de frecuencia (Frequency

Shift Keying o FSK) la cual desplaza la frecuencia con los pulsos de la señal moduladora. LoRa utiliza Chirp Spread Spectrum (CSS) como modulación, que mantiene las mismas características de baja potencia que la modulación FSK, pero aumenta significativamente el rango de comunicación [8].

3.2.1. Formato de trama física

Aunque la modulación LoRa se puede usar para transmitir tramas arbitrarias, se especifica y se implementa un formato de trama física en los transmisores y receptores LoRa. El ancho de banda (BW) y el factor de dispersión (SF) son constantes para una trama. Como se mencionó, el SF deberá ser el mismo para que un emisor dado pueda ser escuchado por determinado receptor. Diferentes SF son ortogonales entre ellos, lo que permite reutilizar un mismo canal para más nodos de manera simultánea variando el SF. Dado que hay 2^{SF} chirps en un símbolo, un símbolo puede codificar SF bits de información [8]. Una trama LoRa inicia con un preámbulo. A su vez el preámbulo comienza con una secuencia de chirps constantes que cubren toda la banda de frecuencia. Los últimos dos chirps codifican la palabra de sincronización. La palabra de sincronización esta formada por un byte que se usa para diferenciar las redes LoRa que usan las mismas bandas de frecuencia [8]. Un dispositivo configurado con una palabra de sincronización dada dejaría de escuchar una transmisión si la palabra de sincronización descodificada no coincide con su configuración. La palabra de sincronización es seguida por 2.25 chirps invertidos, para una duración de 2.25 símbolos. La duración total de este preámbulo se puede configurar entre 10.25 y 65,539.25 símbolos [8]. La estructura del preámbulo se puede ver en la Fig. 2.

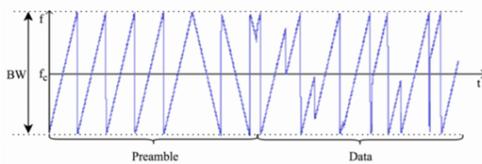


Figura 2. Variación de frecuencia a lo largo del tiempo de una señal de muestra emitida por un transmisor LoRa. Estructura de preámbulo de sincronización. f_c es la frecuencia central del canal, y BW es el ancho de banda [8].

4. Metodología

El desarrollo de un enlace inalámbrico de larga distancia Bluetooth/LoRa en el cual no sea necesario el

acceso a Internet, satisface la necesidad de comunicar a las personas, que en caso de no tener acceso a ésta, tengan una alternativa segura y confiable con la cual puedan contar en caso de no encontrarse en el área de cobertura de red celular. Por lo tanto, es necesario cumplir con características en cuanto a las tecnologías a utilizar.

Dichas características primordiales son:

- Compatibilidad con Bluetooth
- Portabilidad
- Autonomía
- Escalabilidad tecnológica

4.1. Placa de desarrollo a utilizar

Se determinó utilizar la placa de desarrollo LoPy4 fabricada por la empresa Pycom, por sus ventajas en el procesamiento y contar con los módulos de comunicación requeridos para el canal de comunicación integrados en dicha placa, lo cual evita el uso de componentes extras que compliquen el diseño de circuito y el tamaño final del dispositivo. La Fig. 3 muestra los componentes de LoPy4.

Trabajando en el canal de comunicación, se dificultó implementar el protocolo Bluetooth Low Energy (BLE) que utiliza la placa LoPy4, debido a los comandos de programación complejos que presenta. Bluetooth Low Energy no es compatible con las versiones anteriores, por lo que se requirió adicionar un módulo Bluetooth externo HC-05.

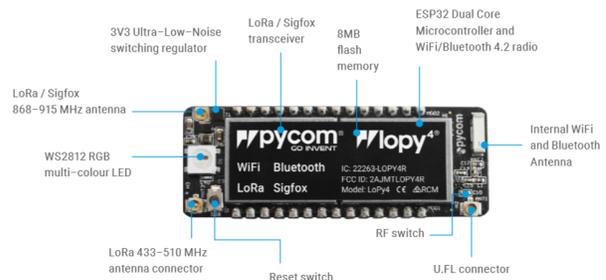


Figura 3. Componentes de LoPy4 [9]

4.2. Construcción del canal de comunicación Bluetooth/LoRa

En la Fig. 4 se puede observar los componentes que contiene el enlace de comunicación Bluetooth/LoRa, así

como una representación gráfica de la interacción entre ellos.

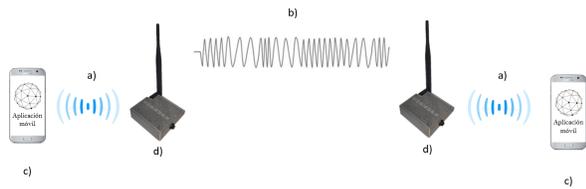


Figura 4. Diagrama de operación; donde (a) representa la comunicación Bluetooth entre dispositivo móvil y LoPy4; (b) el protocolo LoRa entre dos LoPy4; (c) el dispositivo móvil y (d) el dispositivo LoPy4.

El microcontrolador se encarga de recibir los mensajes emitidos del dispositivo móvil y transmitirlos por protocolo LoRa hasta su compañero, que hace la tarea inversa. El mensaje sale en forma de onda del emisor, codificando con CSS la información transmitida. Además de contener una llave de seguridad, para que el mensaje solo pueda ser abierto por el dispositivo que espera su recepción. La comunicación entre dispositivos, dependiendo de condiciones ambientales puede llegar hasta 10 km y de hasta 500 m dentro de edificios.

Para efectuar la comunicación se utiliza una aplicación móvil que se encarga de la interfaz entre el dispositivo móvil y el punto de acceso inalámbrico LoRa como se observa en la Fig. 5. La aplicación permite escribir y mostrar mensajes de la conversación. LoPy4 se conecta a un dispositivo móvil a la vez (emparejamiento), siempre que se encuentren a menos de 10 m de distancia.

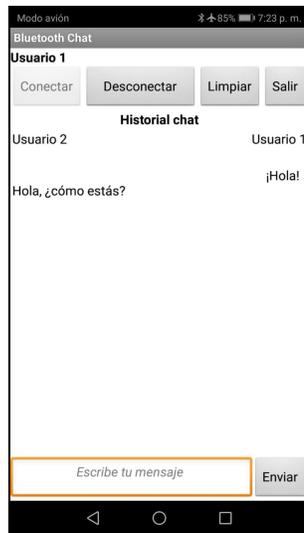


Figura 5. Interfaz de aplicación móvil.

4.3. Construcción del prototipo HERMESH

Se construyó el circuito electrónico, montando los módulos LoPy4 y Bluetooth sobre una placa fenólica perforada como se muestra en la Fig. 6, con fuente de alimentación de 4,2 Volt. Dicho procedimiento fue duplicado para realizar ensayos de comunicación en un enlace punto-a-punto.

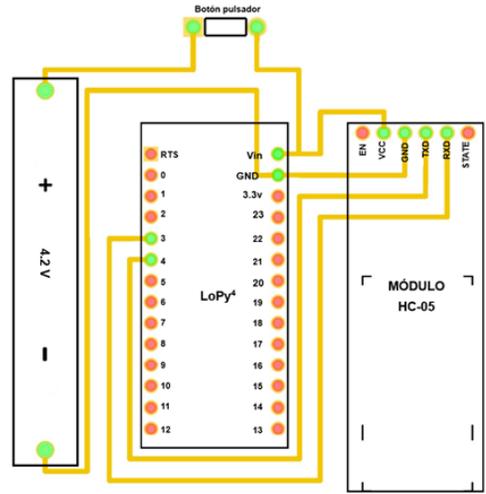


Figura 6. Diagrama eléctrico del dispositivo.

Considerando los aspectos de funcionalidad sin olvidar la portabilidad y estética, se desarrolló un diseño a través del programa de dibujo asistido por computadora, SolidWorks. El diseño (Fig. 7) cuenta con características tales como:

- Botón de acción Encendido/Apagado.
- Puerto micro USB para recarga de batería.
- Antena externa.
- Pestaña para guardar antena externa.
- Dimensiones de 86 X 82.5X 27.5 mm

Con el prototipo impreso en 3D se realiza la interconexión de los componentes electrónicos, posteriormente se montan en la carcasa. La Fig. 7 muestra el diseño del dispositivo terminado al cual se le asignó el nombre de "HERMESH".

5. Pruebas y resultados

Para poner a prueba la distancia que ofrece LoRa como plataforma de comunicación, se realizaron tres pruebas en distintos escenarios con el fin de analizar la

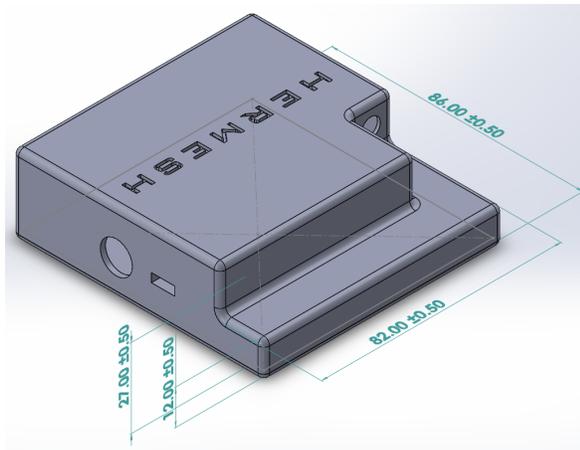


Figura 7. Diseño de carcasa en SolidWorks en vista isométrica.

efectividad del enlace y su comportamiento enviando y recibiendo mensajes. A continuación, se muestran los resultados de las pruebas realizadas.

La configuración de los equipos fue la siguiente:

- Modo LoRa.
- Frecuencia de trabajo 915 MHz.
- Factor de dispersión SF = 12.
- Potencia de transmisión 20 dBm.
- Conexión a Bluetooth clásico.

5.1. Prueba 1

Para determinar el tiempo de vida de la batería del dispositivo se realizaron cálculos del consumo eléctrico midiendo los valores de corriente en sus tres estados de trabajo: espera, recepción y transmisión; donde se obtuvieron los valores mostrados en la Tabla 1.

La corriente promedio demandada por el dispositivo se calculó mediante 500 mensajes recibidos y 500 transmitidos en un tiempo de uso de 14 horas. El tiempo que tarda en recibir y transmitir mensajes es en promedio de 1 segundo en cada estado. El porcentaje de tiempo se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Demandas de corriente y duración promedio de los estados de trabajo.

Estado de trabajo	Corriente	Tiempo
Espera	60 mA	13.7222 h (98.01 %)
Receptor	140 mA	0.1388 h (0.99 %)
Transmisor	220 mA	0.1388 h (0.99 %)

La corriente promedio se calcula con la ecuación (1).

$$I_P = I_E * t_E + I_R * t_R + I_T * t_T \quad (1)$$

donde:

- I_P = Corriente promedio.
- I_E = Corriente en modo espera.
- t_E = Tiempo promedio en modo espera.
- I_R = Corriente en modo receptor.
- t_R = Tiempo promedio en modo receptor.
- I_T = Corriente en modo transmisor.
- t_T = Tiempo promedio en modo transmisor.

Se aplica la fórmula (1) con los valores de la Tabla 1.

$$I_P = 62.4mA$$

Para obtener el tiempo de vida de la batería se tiene la fórmula (2).

$$tiempo\ de\ vida = \frac{C(mAh)}{I(mA)} \quad (2)$$

donde:

- C = Capacidad de la batería.
- I = Corriente demandada.

Con una batería 18650 de 3000 mAh y la corriente promedio, sustituimos en la fórmula (2).

$$tiempo\ de\ vida = \frac{3000mAh}{62.4mA} = 48.07h$$

El tiempo de vida esperado para la batería, en el caso descrito en esta prueba será de 48 horas y 4.2 minutos.

5.2. Prueba 2

Con el fin de analizar el comportamiento del enlace en zona urbana se realizó una prueba de alcance en un área altamente transitada de la ciudad de La Paz Baja California Sur, entre los puntos A y B como se muestra en la Fig. 8, con direcciones de Boulevard 5 de febrero e/ Boulevard Forjadores y calle Aquiles Serdán e/ calle Miguel L. de Legaspy, respectivamente.

La distancia obtenida entre los puntos fue de 1.4 km, destacando que no hay visibilidad entre estos. Para estimar las pérdidas de comunicación debido a los obstáculos se enviaron 100 mensajes desde cada punto hacia

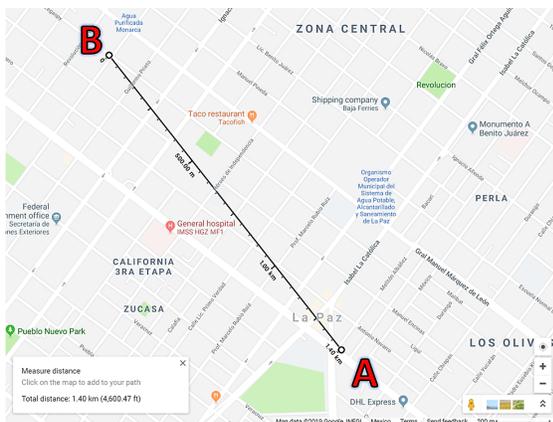


Figura 8. Imagen mostrando la trayectoria de la prueba 2[Google Maps, 2019].

Tabla 2. Resultados de la prueba 2.

Punto de recepción	Punto A	Punto B
Mensajes entregados	100 %	100 %
Mensajes sin error	85 %	93 %
Mensajes con error	15 %	7 %

el otro, haciendo registro de los mensajes entregados y de aquellos que llegaban con algún error.

Debe destacarse que todos los mensajes enviados fueron entregados a su destino. En esta prueba se presentaron casos, en donde una cadena de texto se partionaba y se empalmaba con la cadena de texto anterior o con la siguiente. A estos mensajes se les denominó mensajes con error. La Fig. 9 representa una conversación donde se aprecia la manera en la que los mensajes fueron enviados y como fueron recibidos.

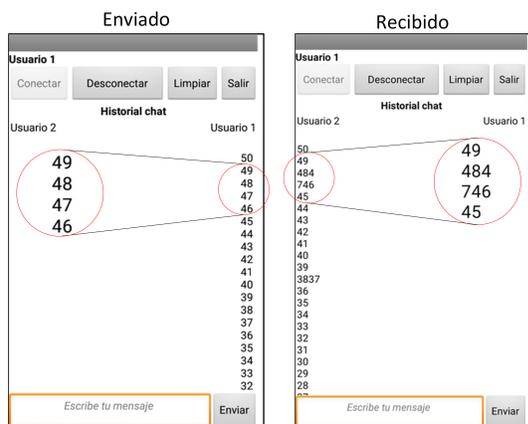


Figura 9. Imagen que muestra mensajes con error en una conversación.

5.3. Prueba 3

La tercera prueba fue desarrollada en la bahía de La Paz Baja California Sur, aprovechando así la costa de la ciudad como se muestra en la Fig. 10 en donde los puntos C y D son playa frente a la preparatoria CETMAR y la playa El Coromuel, respectivamente. Aquí buscamos un alcance mayor ubicando los puntos en línea de vista sin ningún tipo de obstáculo.

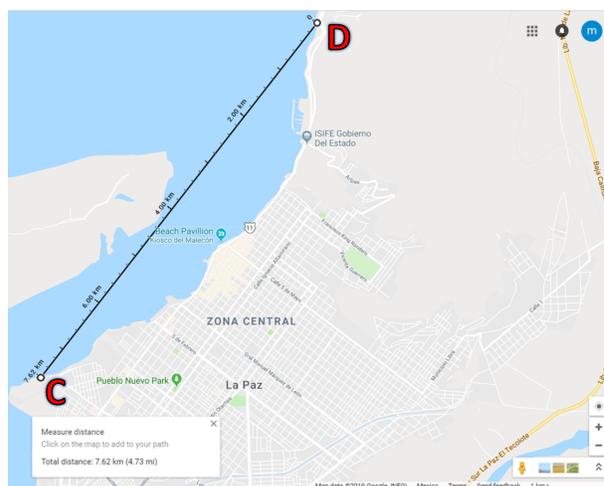


Figura 10. Imagen mostrando la trayectoria de la prueba 3 [Google Maps, 2019].

La distancia total obtenida es de 7.62 km entre los puntos C y D. De nuevo se enviaron, de igual manera, 100 mensajes desde cada punto hacia el otro. Los resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de la prueba 3.

Punto de recepción	Punto A	Punto B
Mensajes entregados	85 %	95 %
Mensajes sin error	80 %	88 %
Mensajes con error	5 %	7 %

Esta prueba mostró comunicación exitosa entre los puntos C y D, donde gran parte de los mensajes enviados fueron entregados, con porcentajes bajos de mensajes con error.

6. Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas realizadas, HERMESH mediante el uso de protocolos Bluetooth/LoRa es capaz de generar una red de comunicación punto-a-punto de largo alcance confiable.

Dichas pruebas se desarrollaron en diferentes escenarios, comunicación con y sin obstáculos, donde se

estableció la red de manera exitosa con rangos de aproximadamente 1.4 km en zona urbana y 7.62 km en línea de vista. Analizando estos valores se llega a la conclusión de que el enlace es susceptible a interferencias por objetos sólidos como lo son casas habitaciones, edificios, arboles, arbustos y vehículos en tránsito, entre otros.

Para dar seguimiento al proyecto se proponen las siguientes recomendaciones:

- Añadir el uso del protocolo WiFi, para interconectar más de un dispositivo móvil a la vez al prototipo Hermesh.
- Utilizar repetidores Hermesh para ampliar la cobertura de la red de mensajería.
- Realizar las mejoras que permitan a la red enviar y recibir paquetes de datos de tipo multimedia.
- La red de comunicación para mensajería puede usarse para interconectar sensores y actuadores a largas distancias sin Internet, se recomienda hacer las pruebas.

Referencias

- [1] INEGI "Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares ENDUTIH", 2018. INEGI, 2018
- [2] CONEVAL "Diez años de medición de pobreza multidimensional en México: avances y desafíos en política social ." 2018 CONEVAL: 2018.
- [3] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura , 2018. "México rural del Siglo XXI." FAO: 2018
- [4] INEGI "Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica ENADID", 2018. INEGI, 2018
- [5] Salazar, J., 2017. "Redes inalámbricas." Republica checa: TechPedia.
- [6] Fernández Martínez, R., Ordieres Meré, J., Martínez de Pisón Ascacibar, F., González Marcos, A., Alba Elías, F., Lostado Lorza, R. and Pernía Espinoza "Redes Inalámbricas de sensores: Teoría y aplicación práctica", 2009. Universidad de La Rioja, 2009
- [7] Monfort, I. O., 2017. "Estudio de la arquitectura y el nivel de desarrollo de la red LoRaWAN y de los dispositivos LoRa." Universidad Oberta de Catalunya.
- [8] Augustin, A.; Yi, J.; Clausen, T.; Townsley, W.M. "A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things.", 2016. Sensors 2016, 16, 1466
- [9] "Pycom", 2017 LoPy4, Datasheet

Medición de parámetros que influyen en el desempeño de un sistema fotovoltaico

E. E. Vázquez^a, R. A. Félix^a, A. Rincón^a, A. Regalado^a, E. G. Espinoza^a

^aUniversidad de Colima (UCol),
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica,
Carretera Colima - Coquimatlán km 9, Valle de las Huertas, 28400 Coquimatlán, Colima, Mexico.
{erick_vazquez, rfelix, rinconpulido, eespinoza3}@ucol.mx

2019 Published by DIFU_{100ci}@ <http://difu100cia.uaz.edu.mx>

Resumen

En este trabajo se presenta la implementación y resultados preliminares del prototipo de medición de parámetros de operación de los sistemas fotovoltaicos (PMP) y la obtención de la base de datos experimental, que permitirán la evaluación de las tecnologías fotovoltaicas de silicio, monocristalina y policristalina respectivamente.

Se resalta la importancia de la medición de los parámetros de operación de un sistema fotovoltaico y la diferencia que pudiera resultar del uso de una tecnología de silicio en particular con respecto a las condiciones reales del sitio a emplazar el sistema, lo anterior debido a la diversidad de microclimas que existen en el país y que afectan directamente el desempeño de dichas tecnologías bajo idénticas condiciones de trabajo.

Se describe en líneas generales como está integrado el prototipo de medición, su funcionamiento y alcance, por otro lado, se describe, en primera instancia, la instalación de los sistemas de prueba fotovoltaicos con tecnología monocristalina y policristalina interconectados a la red eléctrica, así como los resultados preliminares basados en base de datos experimental adquirida.

Palabras clave: tecnología fotovoltaica, monocristalino, policristalino, prototipo de medición.

1. Introducción

En la actualidad, es indispensable llevar a cabo investigaciones enfocadas al comportamiento de los sistemas fotovoltaicos (SFV) bajo condiciones de operación reales en diferentes zonas de México, esto debido a que los equipos que conforman un SFV son en su mayoría importados y las condiciones en que se realizan las pruebas de los mismos, llamadas Condiciones Estándar de Prueba (STC, del inglés Standard

Test Conditions), y modelos generados de módulos solares fotovoltaicos (MSF), difieren de las condiciones de operación reales que se observan en las zonas que son instalados. De igual manera, los datos climatológicos de las diferentes zonas que conforman México no se encuentran actualizados debido a las variaciones producidas por el efecto del cambio climático y su consiguiente aumento de temperatura [1][2]. Por otro lado, las bases de datos actuales no contemplan una relación entre las distintas variables que afectan el desempeño

de un SFV, por ello es indispensable realizar mediciones para integrar una base de datos con los parámetros que inciden en el desempeño de los SFV.

Así mismo, las características inherentes a la tecnología fotovoltaica, principalmente en los MSF de silicio, han permitido la obtención de eficiencias cada vez más altas bajo condiciones STC, es por lo anterior que el objetivo general de este proyecto de investigación es la implementación de un prototipo de medición de sistemas fotovoltaicos (PMP) que permita evaluar y caracterizar las tecnologías fotovoltaicas de silicio monocristalina y policristalina. Es importante resaltar que este proyecto sentará las bases para el desarrollo de una línea de investigación que obtendrá sus primeros resultados en una media de cinco años de mediciones constantes que se pretende concluir con un modelo de SFV que contemple las condiciones de operación de la zona en que será instalado y provea de información relevante en la toma de decisión, esto en cuanto a la tecnología apropiada para esa zona y la prospección de generación. Para la realización de este proyecto de investigación fue necesario llevar a cabo los siguientes rubros:

- Diseño, pruebas e implementación de un prototipo de evaluación de tecnologías fotovoltaicas de silicio (PETFV) bajo condiciones de operación reales en la zona occidente de México.
- Pruebas y puesta en operación del PMP en el PETFV, ubicado en la zona occidente de México.
- Obtención de una base de datos preliminar de parámetros que influyen en el desempeño de un SFV en la zona occidente de México, que sienta las bases para la obtención de un modelo de SVFI con el objetivo de predecir el comportamiento de estos bajo condiciones de operación reales.

2. Prototipo de medición

El PMP registra las mediciones de los parámetros que inciden en el desempeño de un SFV, siendo estos diferenciados en dos rubros, los que inciden directamente en la generación, tal como la irradiación solar, temperatura de celda y caudal de viento, así como los que son resultado de la conversión de energía a través de los MSF, tal como la tensión y corriente generadas y posteriormente almacenada en un banco de baterías o entregada a la red vía un inversor acoplado a la misma. De igual manera, el PMP posee ocho canales analógicos de registro analógicos de datos, el rango de medición es de 0 V a 1.1 V y tiene una resolución de 10 bits. Este prototipo es empleado actualmente

en el desarrollo de diversos proyectos enfocados en el uso de energías alternativas, por otro lado, el prototipo se encuentra en la fase de dictaminación ante el IM-PI, bajo el apartado de Modelo de Utilidad con el Folio MX/u/2016/000201. El PMP es empleado para generar una base de datos experimental de los parámetros registrados de desempeño de dos SFV interconectados a la red que presentan condiciones similares de operación, siendo registrado el comportamiento de las tecnologías de silicio más empleadas a nivel comercial, los MSF de celdas monocristalinas como policristalinas, para de esta manera obtener una primera caracterización del comportamiento.

2.1. Parámetros de medición del PMP

A continuación, se enlistan los parámetros que realiza mediciones el PMP, se describe en qué radica la importancia de medir cada uno de ellos para la realización de una evaluación correcta de las tecnologías fotovoltaicas monocristalina y policristalina de silicio.

1. Corriente y tensión en CD: la medición de estos parámetros entregan la información necesaria para determinar el desempeño y la eficiencia del MSF. El punto de medición se encuentra en el circuito que alimenta al inversor que interconecta el SFV a la red, los sistemas de prueba serán descritos en una sección posterior. Para la medición de corriente se empleó el sensor de efecto Hall CSLA2CF [3], el cual cuenta con intervalo de medición comprendido entre 54 mA por lectura mínima y 56.12 A como lectura de corriente máxima, dicho sensor se habilitó para conectarse de manera funcional al circuito de alimentación proveniente de los MSF; la tensión se mide de manera directa a través de un acondicionador de tensión, un divisor de voltaje, ubicado en las terminales de acoplamiento del portafusible que protege al circuito de CD antes de conectarse al inversor.
2. Radiación solar: la importancia de medir este parámetro radica en el hecho de que la radiación solar es inherente a la generación de un MSF. La generación de energía fotovoltaica requiere de la incidencia de la luz solar directamente sobre las celdas de un módulo, lo anterior debido a las características intrínsecas del material semiconductor del que están hechas lo que permite a los fotones incidentes provocar un flujo de electrones, el cual puede ser almacenado a través del uso de un regulador de carga en un banco de baterías o ser transformado en corriente alterna y transferirse a la red a través de un inversor. Para la medición

de la radiación solar se empleó un sensor DAVIS SSR6450 [4], siendo el registro mínimo de 1.9316 W/m^2 .

3. Temperatura de celda: todos los materiales semiconductores tienen coeficientes de temperatura, ya sean positivos o negativos. Siendo una celda fotovoltaica constituida por un material semiconductor, estos coeficientes de temperatura tienen incidencia directamente en el desempeño de un MSF, por lo que resulta de suma importancia medir la temperatura de la celda para poder observar el efecto que tiene sobre la generación de energía fotovoltaica, y determinar si es necesario implementar algún mecanismo para disipar esa temperatura de manera que el MSF trabaje a una temperatura óptima, lo anterior debido a que si se retira el calor en la cara inferior del MSF, este podría ocuparse para otro proceso y estabilizaría la temperatura del módulo y por ende la corriente generada. Para la medición de la temperatura de celda se empleó el sensor LM35, con una resolución de 0.3225°C .
4. Velocidad del viento: este parámetro tiene un efecto indirecto sobre la generación de un panel fotovoltaico. El viento afecta a la generación de un panel en la temperatura de la celda; retirando una proporción de calor superficial de la celda mediante convección natural, por lo tanto, el viento puede llegar a incidir en el desempeño de un MSF. En primera instancia se han realizado las mediciones a través de un equipo WEATHER SENSOR ASSEMBLY P/N 80422, el cual mide velocidad y dirección del viento, siendo el registro mínimo de viento 0.66 m/s , sin embargo, este sensor será sustituido por el sensor DAVIS Vantage Pro D6410 [5], con una resolución de 0.25 m/s .

Otra de las características del PMP es la inclusión de un reloj de tiempo real (RTC, del inglés Real Time Clock), el cual proporciona estampas de tiempo para cada medición, de tal manera que se conoce la hora, minutos, segundos, día, mes y año en que registre cada dato. Además, cuenta con un módulo lector de tarjetas SD para realizar el registro y almacenamiento de las mediciones que realice el prototipo, esto para contar con un registro de la base de datos generada. En la Figura 1 se muestra el PCB central del prototipo, en su etapa de registro de datos interactúa con los sensores en una topología tipo estrella de la siguiente manera: el microprocesador recibe las señales enviadas por los sensores, las procesa para convertirlas en los valores equivalentes a las mediciones y les agrega la estampa de tiempo proporcionada por el RTC. Posteriormente,

escribe los datos en un archivo de texto, el cual se almacena en la tarjeta SD.



Figura 1. Módulo de adquisición de datos del PMP.

En la Figura 2 se muestra la etapa de transmisión de datos inalámbrica, la cual permite transmitir los datos registrada diariamente a través de radios XBee desde el punto de recolección hasta el punto de almacenamiento y visualización, este módulo del PMP esta conformado por un MSF de $10\text{W}@12\text{V}$, un regulador de 12 V nominales con salida de 3 A , una batería de plomo ácido de $12\text{V}@7\text{Ah}$ y un módulo Buck de 24 V a 3.3 V para la alimentación del radio XBee Pro empleado para la transmisión de datos.



Figura 2. Módulo Router del PMP.

Otras características que se deben mencionar acerca del prototipo son: su autonomía, puesto que su alimentación se realiza de manera independiente a los SFV que componen al prototipo de evaluación, siendo esta de dos días y medio; la frecuencia de muestreo del prototipo, lo anterior permite obtener una registro puntual de la señal medida, la cual es de una muestra por segundo; la duración de un evento de medición, el cual comprende 12 horas diarias; y la programación del PMP en una plataforma de software libre como lo es Arduino.

3. SFV de evaluación PETFV

Ha quedado establecido que para poder realizar una correcta evaluación de las tecnologías fotovoltaicas de silicio, se debe generar una base de datos preliminar que integre los principales parámetros que influyen en el desempeño de un SFV. Además de lo anterior, se requiere implementar un sistema fotovoltaico para cada tecnología que se evaluará. Dichos sistemas deberán tener las mismas características y trabajar bajo las mismas condiciones de operación para que la evaluación sea válida. Tomando como referencia lo anteriormente descrito, se implementó un PETFV que está constituido por dos SFV cuyas características se muestran en la Tabla 1.

En la Figura 3 se muestra el SFV de evaluación de tecnologías fotovoltaicas de silicio, se observa el campo solar completo, siendo los primeros cinco módulos observados los policristalinos y los segundos cinco módulos los monocristalinos, de igual manera se observa el módulo de transmisión de datos en primer plano y a espaldas del campo solar el nicho en que se encuentran los inversores de interconexión a la red.



Figura 3. SFV de evaluación de tecnologías de silicio.

Para poder analizar los datos registrados por el PMP teniendo la certeza de que los resultados que se obtendrán a partir de éstos serán confiables, resulta imperativo validar de alguna forma las mediciones registradas por el prototipo de medición propuesto. Las mediciones de los parámetros atmosféricos serán realizadas posteriormente, esto debido a que se emplearán datos de una estación anemométrica DAVIS Vantage Pro, y puesto que los sensores son de la misma marca se prevé que los datos recabados no varíen ostensiblemente.

Sin embargo, para la validación de las mediciones de tensión y corriente realizadas por el PMP en los campos monocristalino y policristalino se utilizó el PowerPad 8335 de AEMC, empleando las pinzas MR193 que pueden medir una tensión de 600 V y una corriente de 10-1000 ACC con una salida de 1 mV/A. Los resultados obtenidos son satisfactorios puesto que se obtuvo una

diferencia máxima de 1.8 %, lo cual se encuentra dentro del margen de variación de los sensores de corriente CSLA2CF y las resistencias de precisión empleadas en el acondicionador de la señal de tensión. Las pruebas de validación se llevaron a cabo en días diferidos, esto debido a que solo se cuenta con un juego de pinzas MR193 y no es posible medir simultáneamente los dos campos solares. En la Figura 4 se observa la diferencia entre las lecturas de corriente, en el campo solar monocristalino (CSM), del PMP y el PowerPad, es importante mencionar que la muestra presentada es aleatoria debido a que solo es necesario validar un segmento de las curvas registradas. Se observa que la diferencia entre ambos oscila cercana a cero, esta diferencia puede reducirse calibrando el offset de los sensores de medición de parámetros, a su vez, también hay que considerar que el PowerPad tiene un algoritmo de medición de promedios ponderados, por lo cual el resultado mostrado siempre será menor al registrado en datos crudos.

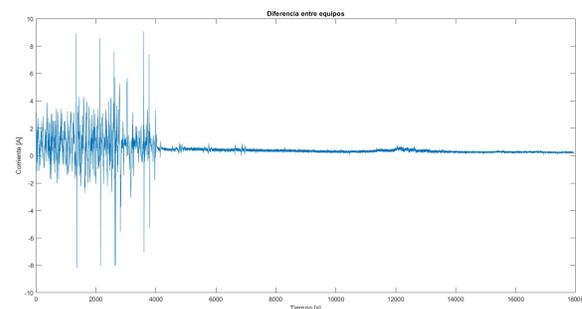


Figura 4. Validación de la medición de corriente del PMP con respecto al PowerPad en el CSM.

En la Figura 5 se muestra la comparativa entre las mediciones de tensión registradas por el prototipo y el PowerPad, se aplica el mismo criterio que en las mediciones de corriente.

Se realizó el mismo procedimiento para validar la medición del campo fotovoltaico policristalino, en la Figura 6 se muestra la validación de corriente y en la Figura 7 la validación de la tensión. Es importante recalcar que los perfiles mostrados son diferentes debidos a que las mediciones se llevaron a cabo en días diferidos, no obstante la diferencia de tecnología, los resultados son muy similares en cuanto a la diferencia entre las dos mediciones.

4. Resultados preliminares

Una vez llevado a cabo la validación de los parámetros de salida, se obtienen los datos a través del PMP, dichos datos se configuraron para que fueran empaquetados por hora durante un periodo de 12 horas diarias.

Tabla 1. Características de los SFV que componen al SFV de evaluación

Características	Sistema 1	Sistema 2
Tecnología	Monocristalina	Policristalina
Marca del panel	SolarWorld	CanadianSolar
Modelo del panel	SWA 350 XL	mono CS3U-350P
Coefficiente de Temp.	$CT_{Isc} = 0.03 \%/^{\circ}C$ $CT_{Voc} = -0.29 \%/^{\circ}C$ $CT_{Pmax} = -0.42 \%/^{\circ}C$	$CT_{Isc} = 0.05 \%/^{\circ}C$ $CT_{Voc} = -0.29 \%/^{\circ}C$ $CT_{Pmax} = -0.37 \%/^{\circ}C$
Número de módulos	5	5
Capacidad instalada	1,750 W	1,750 W
Inversor	Fronius Galvo 1.5-1 208-240	Fronius Galvo 1.5-1 208-240
Tipo de conexión	Interconectado a red	Interconectado a red

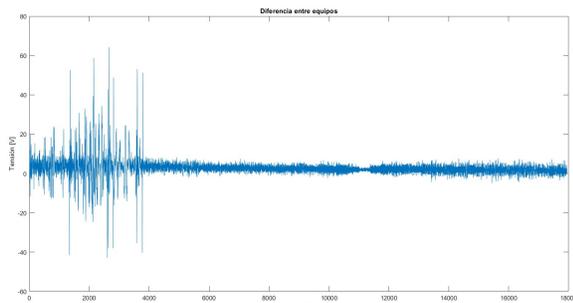


Figura 5. Validación de la medición de tensión del PMP con respecto al PowerPad en el CSM.

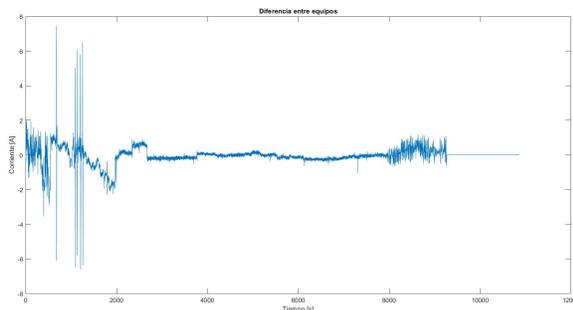


Figura 6. Validación de la medición de corriente del PMP con respecto al PowerPad en el CSP.

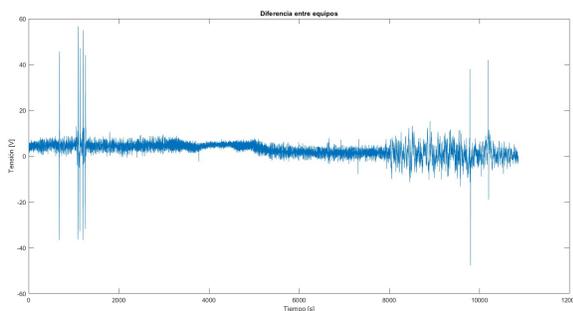


Figura 7. Validación de la medición de tensión del PMP con respecto al PowerPad en el CSP.

La base de datos que se presentará a continuación fue obtenida el día cuatro de julio de 2019, el evento de

medición inició a las 7:00 horas y terminó a las 19:00 horas, registrando los parámetros de: velocidad del viento, radiación solar, temperatura de celda, corriente en CD y tensión en CD para cada SFV, realizadas con una frecuencia de una muestra por segundo.

En la Figura 8 se muestran los datos en crudo de la medición realizada al campo solar monocristalino, al ser magnitudes elevadas entre sí no se alcanza a observar el comportamiento de cada una de las curvas en lo particular, sin embargo, es muy ilustrativo apreciar el comportamiento real de los módulos fotovoltaicos monocristalinos en condiciones de operación reales.

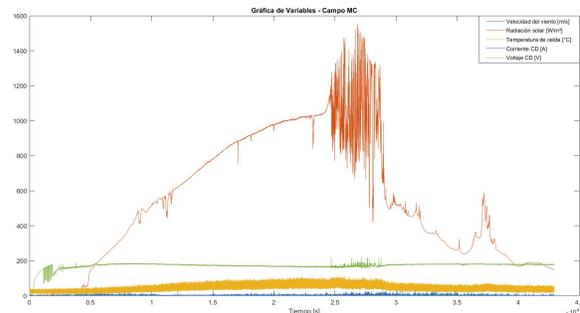


Figura 8. Comportamiento del CSM.

En la Figura 8 se puede apreciar que el día de referencia hubo una intermitencia debida a la variación repentina por lluvia, esta variación es reflejada tanto en la señal de tensión (verde) como en la temperatura de celda (amarillo), siendo visible como la temperatura empieza a disminuir cuando la irradiación y la tensión decaen, una vez pasado el periodo transitorio se estabiliza y se incrementa ligeramente. En la Figura 9 se muestran las curvas ajustadas del mismo CSM para poder apreciar la interacción de los parámetros entre sí y como se reflejan en las variables de salida del campo, los coeficientes de ajustes son los siguientes: para la curva de velocidad de viento (azul) el coeficiente de ajuste es de 20, para la temperatura celda (amarillo) el

coeficiente de ajuste es de 5, para la corriente en CD (morada) el coeficiente de ajuste es de 80, las curvas de irradiación (café) y tensión (verde) se muestran en su escala real debido a que si es posible apreciarlas en la gráfica.

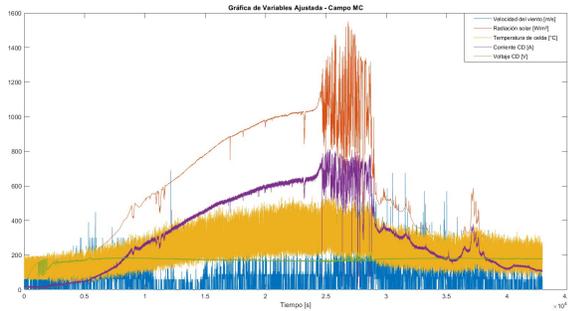


Figura 9. Comportamiento del CSM (curvas ajustadas).

En la Figura 9 se puede apreciar el comportamiento de la corriente en función de la radiación, lo anterior debido a que es patente la similitud entre las formas de ondas, sin embargo, también es apreciable las desviaciones producidas por su interacción con los demás parámetros registrados.

Los datos reales recabados de la tecnología policristalina se muestran en la Figura 10, en ella se observa cierta similitud con la Figura 8, esto es debido a que ambos campos solares son de la misma capacidad instalada y se encuentran acoplados en el mismo punto de operación, en este caso ambos sistemas están interconectados a la red y esta actúa como un bus infinito con respecto a ambas conexiones, de tal manera que van a transferir la totalidad de la energía generada a la red, por lo tanto ambos sistemas van a trabajar con una alta eficiencia. Sin embargo, si existen diferencias entre ambos sistemas, esto se analizará punto a punto en un posterior trabajo, siendo la más significativa la tensión registrada en ambas gráficas.

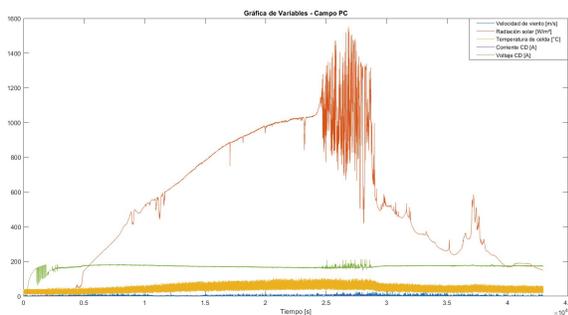


Figura 10. Comportamiento del CSP.

En la Figura 11 se muestra la curva ajustada del CSP, los coeficientes de ajuste son los mismos que se definieron para el CSM.

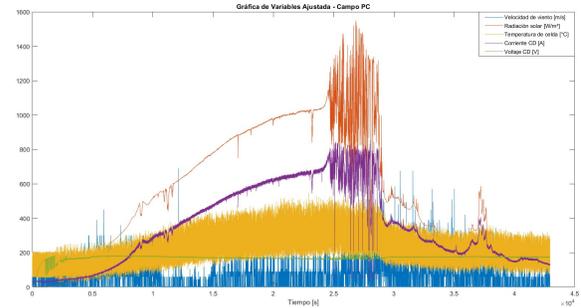


Figura 11. Comportamiento del CSP (curvas ajustadas).

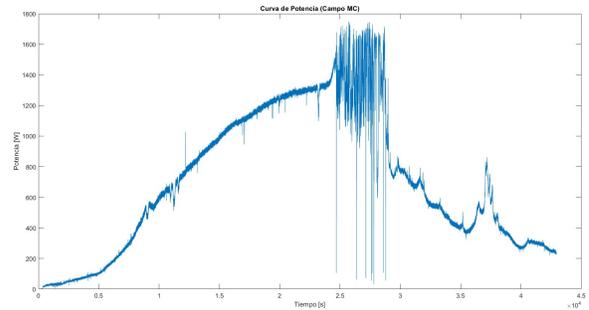


Figura 12. Curva de potencia del CSM.

Se observa en la Figura 12 la curva de potencia obtenida durante el día de medición de datos registrados por el CSM, mostrando similitud con la curva de irradiación en lo general, sin embargo, se pueden apreciar las diferencias en los transitorios, ya que la corriente y la tensión tienen variaciones al interactuar con el resto de los parámetros que intervienen en el desempeño de los MSF, tanto intrínsecos como extrínsecos.

En la Figura 13 se observa la curva de potencia obtenida de los datos registrados del CSP, de igual manera que lo observado en la curva de potencia del CSM, se aprecian las variaciones entre las curvas de irradiación solar y potencia inherentes a la tecnología de módulos policristalinos de silicio.

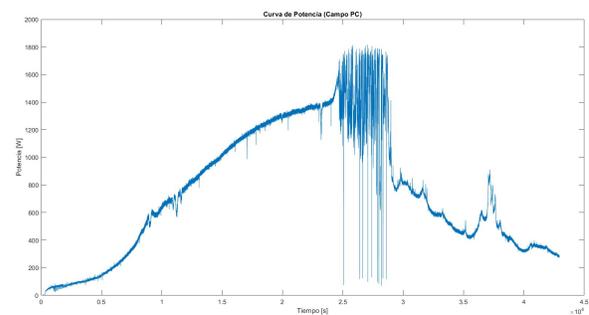


Figura 13. Curva de potencia del CSP.

En la Figura 14 se muestra la comparativa de ambos sistemas en la representación de las curvas de potencia para los datos registrados el día cuatro de julio de 2019,

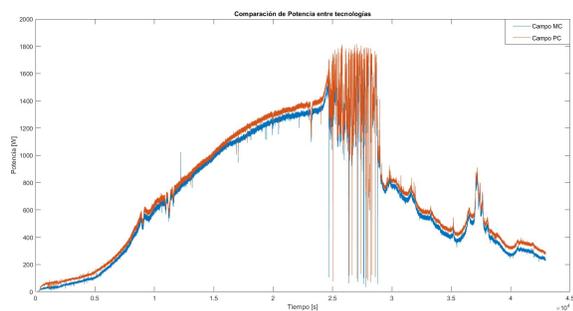


Figura 14. Comparación de curvas de potencia CSMvsCSP.

observándose que en este día en particular el sistema policristalino tuvo una mayor potencia total registrada que el monocristalino, sin embargo, los resultados son puntuales y preliminares, por lo que hay que obtener una mayor cantidad de datos para generar una tendencia real de operación.

Este proyecto sienta las bases para realizar una investigación orientada a obtener información que permita caracterizar el comportamiento de los MSF de ambas tecnologías en condiciones de operación diversas debido a la gran diversidad de microclimas que existen en todo el país, sin embargo, la constante a todos ellos es la gran irradiación en prácticamente todo el territorio nacional, es por ello que se plantea como trabajo futuro inmediato que a partir de esta base de datos se generen los pares de curvas de operación más características de los SFV para cada tecnología. Para cada par de curvas se obtendrá una gráfica, realizada por medio de métodos estadísticos básicos, que describa el efecto de un parámetro sobre el otro, esto para caracterizar ambas tecnologías y obtener información acerca de cómo influyen los parámetros medidos sobre la generación de un SFV para posteriormente comparar como son estas influencias para cada tipo de tecnología. Los efectos que se presentan y analizarán son los de la radiación sobre la corriente, la radiación sobre la temperatura de celda y la temperatura de celda sobre la corriente. Es importante resaltar que los resultados mostrados en esta sección son preliminares, no obstante, permiten visualizar las curvas antes mencionadas. De igual manera, se propone que para describir los efectos mencionados anteriormente se realice un análisis de regresión lineal [6]. Una vez validados los datos obtenidos y se tenga certidumbre en las muestras adquiridas y la interacción de los parámetros, se prevé que puedan ser instalados los PMP en diversas IES que cuenten con SFV, esto para generar una base de datos robusta que comprenda distintas condiciones de operación y determinar así el uso eficiente de cada tecnología.

5. Conclusiones

El objetivo de obtener una base de datos preliminar empleando un prototipo de medición de parámetros en un sistema fotovoltaico fue llevado a cabo con resultados óptimos en cuanto a la información recabada. Resulta evidente, hasta este punto del proyecto, que ambas tecnologías fotovoltaicas, monocristalina y policristalina, tienen comportamientos distintos, siendo el principal la corriente generada en ambos SFV, tanto en condiciones STC como en las condiciones de operación reales bajo las que realizó la evaluación preliminar de las tecnologías. Se observa en todas las mediciones registradas, tanto para validación como para evaluar tecnologías, la intermitencia del recurso solar, es por ello que el resultado mostrado es preliminar, por lo tanto, es necesario verificar a detalle la medición del PMP y obtener una base de datos de meses completos para así realizar el análisis propuesto y obtener un resultado confiable.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por el Programa para el Desarrollo de Personal Docente para el Tipo Superior (ProDEP), Secretaria de Educación Pública en México.

Referencias

- [1] Veldhuis, A. J., Nobre, A., Reindl, T., Ruther, R., & Reinders, A. H. M. E. "The influence of wind on the temperature of PV modules in tropical environments, evaluated on an hourly basis", 2013. Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 31(0), 824–829.
- [2] Dubey, R., Batra, P., Chattopadhyay, S., Kottantharayil, A., Aroora, B. M., Narasimhan, K. L., & Vasi, J. "Measurement of temperature coefficient of photovoltaic modules in field and comparison with laboratory measurements", 2015. 2015 IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference, PVSC 2015.
- [3] Honeywell International, Inc. "Hoja de datos del Sensor de Corriente de Efecto Hall Honeywell CSLA2C", Recuperado 14 agosto, 2019, de <https://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-current-csla-series-catalog-pages.pdf>
- [4] Davis Instruments. "Hoja de datos del Sensor de Radiación DAVIS D6450.", Recuperado 22 julio, 2019, de https://www.davisinstruments.com/product_documents/weather/spec_sheets/6450_SS.pdf
- [5] Davis Instruments. "Hoja de datos del Sensor Anemómetro DAVIS D6410", Recuperado 2 junio, 2019, de https://www.davisinstruments.com/product_documents/weather/spec_sheets/6410_SS.pdf (2019)
- [6] Gutierrez, H., & De la Vara, R. "Análisis y diseño de experimentos", 2008. Ed. Mc Graw-Hill Interamericana.

