

Monitoreo del voltaje de una placa solar y calidad luminosa usando Internet de las Cosas Monitoring the voltage of a solar panel and light quality using the Internet of Things

Julieta Karina Cruz-Vázquez ¹  <http://orcid.org/0000-0001-9356-980X>

María Velasco-Pineda ²

Francisco Gumaro Ruiz-Ruiz ¹  <http://orcid.org/0000-0002-9176-8845>

¹ Universidad del Mar, Tecnologías Agropecuarias y Forestales en el Trópico (UMAR-CA-35), Campus Puerto Escondido, Ciudad Universitaria, ✉ ruiz_ruiz_francisco@hotmail.com

² Egresada de Ingeniería Biomédica, Universidad de La Salle Bajío, Campus Campestre

© Universidad De La Salle Bajío (México)

Recibido en: 14 – 09 – 2020 / Aceptado en: 13 – 12 – 2020

Resumen

Introducción: La tecnología de energía solar, fuente de energía natural y gratuita, es implementada en lugares con acceso limitado a la energía eléctrica tradicional, en algunos casos en el ámbito agrícola o en pequeños asentamientos humanos rurales. Actualmente, los sistemas comerciales, incluyen una unidad de control de carga con una pequeña pantalla, con la finalidad de mostrar el voltaje generado, pero desafortunadamente el operario debe acudir hasta el controlador para revisar su desempeño, por lo que es necesario tener una herramienta que permita conocer la conversión energética en tiempo real de manera remota. Esto se puede lograr haciendo uso de la tecnología del internet de las cosas (IoT). En la actualidad existen diversas plataformas IoT; algunas son gratuitas, otras son versiones demostrativas o de paga.

Método: En el presente trabajo se desarrolló un prototipo con un sistema de monitoreo de voltaje e intensidad luminosa de una pequeña celda solar y un sensor digital TSL2561. Se utilizó el entorno de programación de Arduino acoplado a una plataforma (IoT) *myDevices Cayenne* para poder transmitir y acceder a los datos de manera remota.

Resultados: Con la integración de los componentes se logró monitorear en la plataforma *myDevices Cayenne* en tiempo real el voltaje de la celda solar y la intensidad luminosa del entorno de una manera visual e intuitiva, desde cualquier computadora o teléfono celular con acceso a internet.

Discusión o Conclusión: La plataforma de IoT *myDevices Cayenne* se convierte en una opción atractiva, accesible, robusta y fácil de usar en el desarrollo de proyectos novedosos con IoT aplicados a diferentes sectores de importancia económica.

Palabras clave: Arduino; Cayenne; energía solar; efecto fotovoltaico; ESP8266; intensidad luminosa; NodeMCU; internet de las cosas; tecnología; energía solar; voltaje; calidad luminosa

Abstract

Introduction: Solar energy technology, a natural and free energy source, is implemented in places with limited access to traditional electric power, in some cases in the agricultural field or small rural human settlements. Currently, commercial systems include a charge control unit with a small display, to show the voltage generated, but unfortunately, the operator must go to the controller to check its performance, so it is necessary to have a tool that allows knowing the energy conversion in real-time remotely. This can be achieved by making use of the Internet of Things (IoT) technology. Currently, there are several IoT platforms; some are free, others are demo or paid versions.

Method: In this work, a prototype was developed with a system for monitoring the voltage and light intensity of a small solar cell and a TSL2561 digital sensor. The Arduino programming environment coupled to a *myDevices* Cayenne (IoT) platform was used to transmit and access the data remotely.

Results: With the integration of the components, the *myDevices* Cayenne platform was able to monitor in real-time the voltage of the solar cell and the luminous intensity of the environment visually and intuitively, from any computer or cell phone with internet access.

Discussion or Conclusion: The *myDevices* Cayenne IoT platform has become an attractive, accessible, robust, and easy-to-use option for the development of innovative IoT projects applied to different sectors of economic importance.

Keywords: Arduino; Cayenne; ESP8266; light intensity; NodeMCU; photovoltaic effect; solar energy; internet of things; technology; solar energy; voltage; light quality

Introducción

El año de 1940 marcó el inicio del desarrollo tecnológico de las celdas solares, por haberse diseñado la primera célula solar de silicio con un porcentaje de eficiencia del 1%, se necesitaron más de sesenta años de investigaciones para poder incrementar su rendimiento hasta en un 25% la eficiencia de conversión energética (Green, 2009), siendo el efecto fotovoltaico el principio por el

cual la celda solar es capaz de convertir los fotones provenientes del sol en energía eléctrica (Gutiérrez & Rivera, 2013).

La energía del sol es invaluable por sus características sobresalientes; limpia, autónoma y relativamente inagotable (Buitrago, 2005). México al estar situado en el llamado cinturón solar, es uno de los países con una radiación de 5 KWh por metro cuadrado al día (Alemán *et al.*, 2014), convirtiéndolo indudablemente en un país con un gran potencial para explotar la producción de energía solar (Rodríguez *et al.*, 2017). En México, la producción de energía fotovoltaica se ha incrementado en los últimos años debido a la disminución de los costos para la adquisición de un sistema fotovoltaico, se tiene reportado que a partir del 2010 se incrementó su producción de 28 MWh a 190 MWh en tan sólo cinco años (Rodríguez *et al.*, 2017).

La tecnología del internet de las cosas (IoT), implica la interconexión de una gran variedad de dispositivos electrónicos o “cosas” por medio del internet (Singh *et al.*, 2019). En los procesos de monitoreo y control, el uso de diversos sensores implica la adquisición de datos para la toma oportuna decisiones (Duque, 2017) con la habilitación de actuadores (Bonilla *et al.*, 2016). El internet de las cosas, así como sus aplicaciones han despertado interés en diversos ámbitos; en la salud, como en el monitoreo corporal de pacientes con enfermedad pulmonar crónica (López *et al.*, 2018), en la adquisición de signos vitales vía remota (Zárate *et al.*, 2018). En el ámbito de la agricultura, no es la excepción, se han desarrollado sistemas inalámbricos capaces de recolectar información de parámetros importantes en el desarrollo de cultivos protegidos (Gómez *et al.*, 2017) e inclusive se ha aplicado al área de la domótica (Muñoz & Guryev, 2017). En el ámbito de seguridad, se han desarrollado dispositivos de seguridad comunitaria (Nevárez *et al.*, 2019) y en el monitoreo de equipos en laboratorios de investigación (Rodríguez *et al.*, 2017), por lo anterior esta tecnología tiene la tendencia de mejorar de manera eficiente nuestras actividades tanto laborales y personales, encaminada a un sólo propósito, convertir a la industria, agricultura, vivienda, transporte, seguridad, salud en inteligentes.

De acuerdo con la tecnología IoT, el proceso para conectar un dispositivo está compuesto por tres niveles o capas, el primer nivel son los dispositivos (sensores, actuadores); en el segundo nivel, están los protocolos de conectividad MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), que hacen posible la comunicación entre el dispositivo y la nube; el tercer nivel, la nube de IoT, entorno que se encarga de gestionar la comunicación y administrar los dispositivos conectados (Wortmann & Flüchter, 2015).

Una de las principales características o prestaciones que debe ofrecer una plataforma IoT es la capacidad de conectar y controlar una gran cantidad de dispositivos en todo el mundo (Hejazi *et al.*, 2018). En la actualidad, para poder desarrollar proyectos integrales existe una gran variedad de plataformas disponibles tanto comerciales y de libre acceso (Nakhuva & Champaneria, 2015; Dumitru, 2017).

Se ha documentado que la plataforma *myDevices Cayenne* provee el soporte necesario para desarrollar aplicaciones robustas de IoT con placas de libre acceso como Arduino, ESP8266 y varias versiones de Raspberry Pi y LoRa (Fernández *et al.*, 2020).

El aumento en la demanda energética indudablemente ha incrementado la aceptación de las celdas solares como fuente de energía alternativa renovable, cabe destacar que aún no se puede comparar esta tecnología con los combustibles fósiles en base a su eficiencia energética, pero el impacto que conlleva su uso al ambiente es algo que debemos de considerar muy en serio. Por lo tanto, es necesario mejorar de diferentes maneras el uso de un sistema fotovoltaico; cabe mencionar que los sistemas convencionales no están habilitados para transmitir información relacionada a su funcionamiento de manera remota, esto inhabilita al operario de poder conocer en tiempo real el voltaje generado de una celda solar y de esta manera corregir de manera oportuna un posible desajuste en su desempeño. Por lo anterior, se decidió realizar un prototipo para comprobar la posibilidad de poder monitorear de manera remota el voltaje generado de una pequeña celda solar y la intensidad luminosa del entorno con el uso de la plataforma IoT *myDevices Cayenne* y la placa de desarrollo NodeMCU. Esto con la finalidad de dar una posible solución en la capacidad de monitorear de manera remota el funcionamiento de una celda solar y además promover el uso de las tecnologías IoT de libre acceso en el desarrollo de aplicaciones novedosas que provean soluciones a diferentes áreas de interés social y económico.

Método

Materiales

Sensor TSL2561

El TSL2561 es un convertidor de luz digital que transforma la intensidad de la luz a una señal de salida capaz de dirigir a una interfaz I2C. Permite detectar rangos de luz de hasta 0.1 - 40,000 Lux. La información detallada de conexión y código de programación en el IDE de Arduino se consultó en el sitio oficial de Sparkfun (Sparkfun, 2018).

Tarjeta de desarrollo NodeMCU

la tarjeta NodeMCU es un módulo con un microcontrolador ESP8266 que fue diseñado por una compañía china llamada Espressif Systems, pero su producción en masa inició hasta principios del año 2014, donde se anunció que este chip sería una excelente solución automática de redes Wi-Fi (Ceja *et al.*, 2017).

Tabla 1. Especificaciones del microcontrolador ESP8266.

Table 1. ESP8266 microcontroller specifications.

Característica	Valor
Voltaje	3.3 V
Consumo de corriente	10µA -170 mA
Memoria Flash	16 MB máx. (512 k normal)
GPIOs	17
Soporte de 802.11	b/g/n/d/e/i/k/r

Fuente: Ceja *et al.*, 2017.

Source: Ceja *et al.*, 2017.

Celda solar

Se utilizó una celda solar portátil, con una potencia máxima de 10 watts, 5 volts de salida y 2000 miliAmperes (mA) con dimensiones de 240 milímetros (mm) de largo x 140 mm de alto.

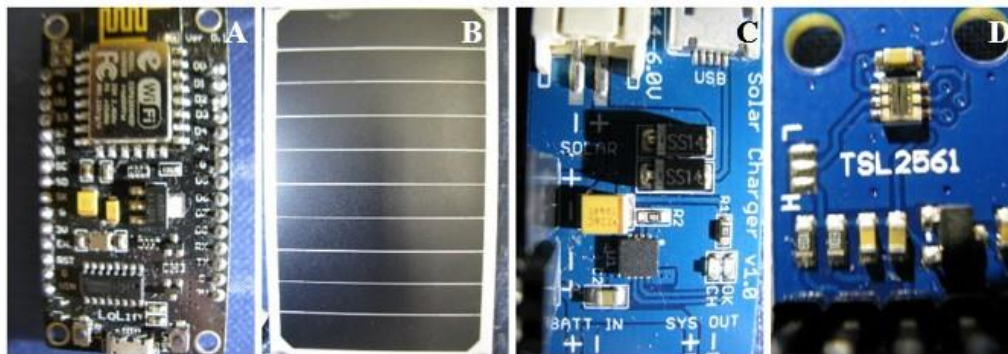


Fig. 1. Componentes electrónicos usados.

(A) Placa NodeMCU. (B) Celda fotovoltaica. (C) Cargador solar. (D) Sensor de luminosidad TSL2561.

Fig. 1. Electronic components used.

(A) NodeMCU board. (B) Photovoltaic cell. (C) Solar charger. (D) TSL2561 brightness sensor.

Plataformas de programación

Para la programación de la placa NodeMCU se seleccionó el Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) de Arduino (Arduino, 2019), esto por la facilidad de su programación y por la basta cantidad de librerías que están disponibles para ser implementadas. *myDevices Cayenne* es una plataforma

IoT cuya característica es de arrastrar y soltar logrando que los usuarios realicen grandes proyectos ahorrando tiempo, además de ser compatible con el IDE de Arduino (myDevices, 2019).

Descarga y configuración del IDE de Arduino

Para poder programar la placa NodeMCU fue necesario descargar el (IDE) de acuerdo al sistema operativo de nuestra computadora, en este caso se descargó para Windows 10, del sitio oficial de Arduino (Arduino, 2019). Al haber instalado y ejecutado el IDE de Arduino, se notó la incapacidad de controlar la placa NodeMCU, por lo que se realizó la gestión y descarga de la librería correspondiente a la placa. Al haber concluido la instalación de la librería, el IDE de Arduino reconoció la placa NodeMCU. Para poder realizar la correcta comunicación inalámbrica entre la placa NodeMCU y la plataforma myDevices Cayenne se gestionó, descargó y se instaló la librería de Cayenne MQTT al IDE de Arduino, de esta manera se habilitó el IDE de Arduino para trabajar con la plataforma myDevices Cayenne y la placa NodeMCU.

Registro de la plataforma Cayenne

Al haber configurado el IDE de Arduino se registró una cuenta de usuario en la plataforma Cayenne (Cayenne, 2019). Posteriormente, se ingresó con el usuario y contraseña a la plataforma myDevices Cayenne. Como se muestra en la Fig. 2, al haber ingresado a la plataforma myDevices Cayenne se procedió a generar un nuevo proyecto titulado ESP8266.

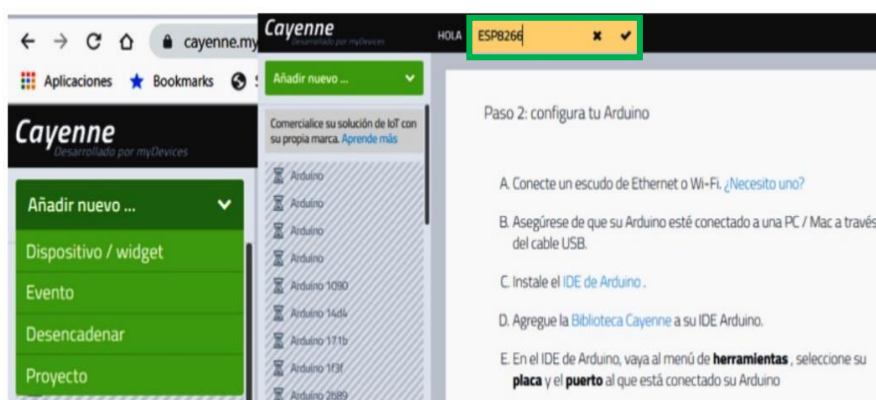


Fig. 2. Interfaz Cayenne. Creación de un nuevo proyecto ESP8266.

Fuente: Elaboración propia tomado de la página oficial de myDevices.

Fig. 2. Cayenne interface. Creation of a new project ESP8266.

Source: Own elaboration taken from the official myDevices website.

El siguiente paso fue añadir los dispositivos que contará el prototipo de monitoreo de voltaje e intensidad luminosa (placa NodeMCU, sensor TSL2651 y celda solar), como se muestra en la **Fig. 3**.

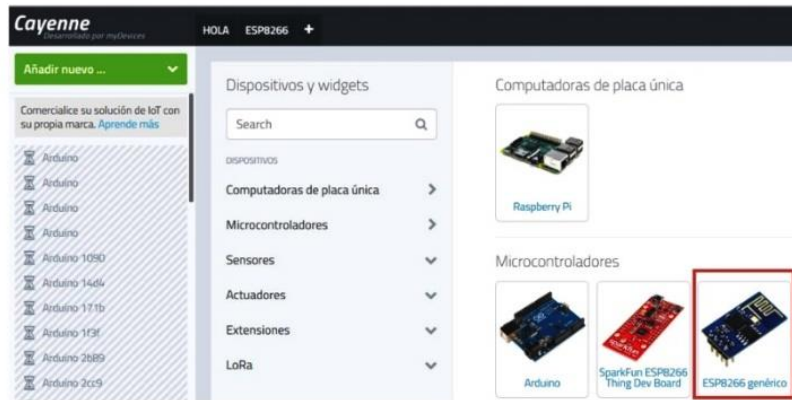


Fig. 3. Interfaz Cayenne. Selección de la placa o microcontrolador ESP8266.

Fuente: Elaboración propia tomado de la página oficial de *myDevices*.

Fig. 3. Cayenne interface. ESP8266 board or microcontroller selection. }

Source: Own elaboration taken from the official *myDevices* website.

Al seleccionar la placa NodeMCU, la plataforma *myDevices* Cayenne generó automáticamente credenciales de identificación (MQTT, contraseña MQTT, identificación del cliente), estos identificadores son indispensables para la comunicación inalámbrica de la placa NodeMCU, los cuales fueron insertados en el código de programación que se desarrolló.

Incorporación del sensor de luminosidad

Para poder habilitar el sensor de luminosidad al IDE de Arduino se instaló la librería correspondiente de manera similar a la instalación de la librería del microcontrolador ESP8266. De esta manera se habilitó al IDE de Arduino para establecer comunicación con el sensor TSL2561, los valores de luminosidad fueron mostrados en el monitor serial de la computadora. Para la obtención de las lecturas de manera inalámbrica en la plataforma *myDevices* Cayenne, se agregó un nuevo dispositivo, este proceso fue similar al realizado con la placa NodeMCU (**Fig. 4**).

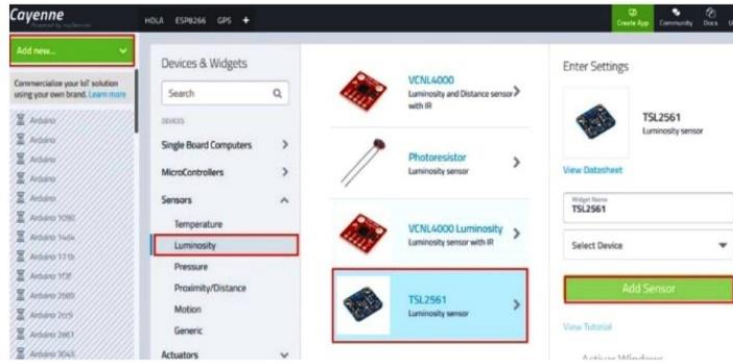


Fig. 4. Interfaz Cayenne. Selección del sensor TSL2561.

Fuente: Elaboración propia tomado de la página oficial de *myDevices*.

Fig. 4. Cayenne interface. TSL2561 sensor selection.

Source: Own elaboration taken from the official *myDevices* website.

Para la incorporación de la celda solar a la plataforma se procedió a realizar el mismo procedimiento del sensor de luminosidad, seleccionando el tipo de dispositivo, como “Genérico”, con esta acción se hizo posible la adquisición de manera remota los valores de voltaje proveniente de la celda solar.

En resumen, para establecer la conexión remota y monitorear los valores de voltaje e intensidad luminosa, se agregaron los dispositivos necesarios en la plataforma *myDevices* Cayenne, del mismo modo se incorporaron las credenciales (MQTT) al código de programación de Arduino y posteriormente el código fue cargado a la placa NodeMCU. El desempeño inalámbrico entre la plataforma *myDevices* Cayenne y el prototipo de monitoreo de voltaje e intensidad luminosa realizado por la placa NodeMCU se espera que se realice de acuerdo al esquema de la **Fig. 5**.

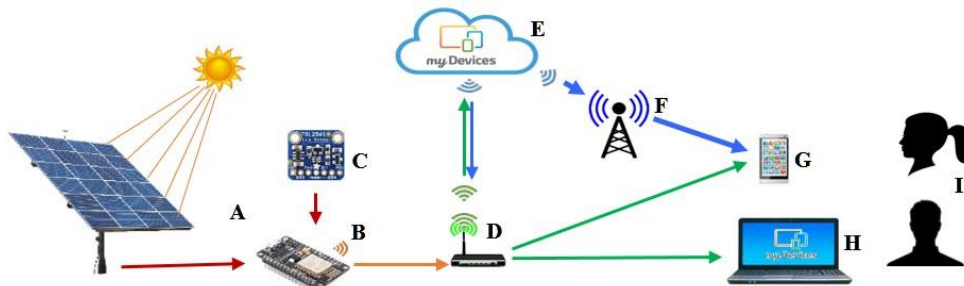


Fig. 5. Esquema del monitoreo del voltaje e intensidad luminosa por *myDevices* Cayenne.

(A) celda solar. (B) Placa NodeMCU. (C) Sensor TSL2561. (D) Modem. (E) Servicios en la nube de *myDevices* Cayenne. (F) Antena de comunicaciones. (G) móvil con sistema Android o IOS. (H) Laptop. (I) Usuarios para la toma de decisiones. **Fuente:** Elaboración propia.

Fig. 5. Schematic of voltage and light intensity monitoring by *myDevices* Cayenne.

(A) solar cell. (B) NodeMCU board. (C) TSL2561 sensor. (D) Modem. (E) *myDevices* Cayenne cloud services. (F) Communication antenna. (G) Mobile phone with Android or IOS system. (H) Laptop. (I) Users for decision making.

Source: Own elaboration.

Resultados

Desde el punto de vista de Knörig, Wettach, & Cohen (2009) el uso del programa de Fritzing es ideal para documentar el diseño de proyectos electrónicos. En la **Fig. 6**, se muestra el esquema de las partes que componen al prototipo de monitoreo de voltaje e intensidad luminosa, desarrollado con el uso de Fritzing (Fritzing, 2019), para otorgarle autonomía, se incorporó una batería de ion litio L-S1 de 1800 mA BlackBerry® como fuente de energía.

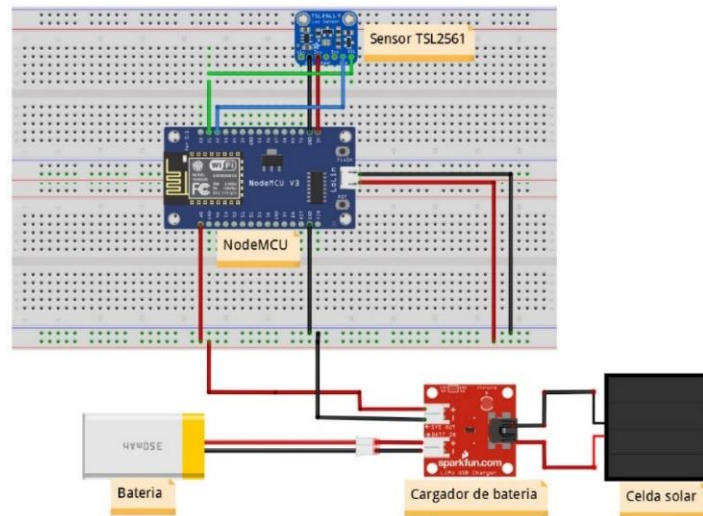


Fig. 6. Esquema de conexiones. Representación de las conexiones realizadas entre la placa NodeMCU, sensor TSL2561, celda solar, cargador solar, batería.

Fuente: Elaboración propia con el uso del programa fritzing®.

Fig. 6. Connection diagram. Representation of the connections made between the NodeMCU board, TSL2561 sensor, solar cell, solar charger, battery.

Source: Own elaboration with the use of the fritzing® software.

Prototipo terminado

Al haber concluido las pruebas de conectividad en el laboratorio, se procedió a probar la capacidad de comunicación entre la placa NodeMCU y el punto de acceso a internet, el prototipo fue capaz de establecer la comunicación hasta una distancia de 12 metros del punto de acceso, posteriormente se buscó un espacio a cielo abierto para la obtención de las lecturas de voltaje e intensidad luminosa de manera remota.

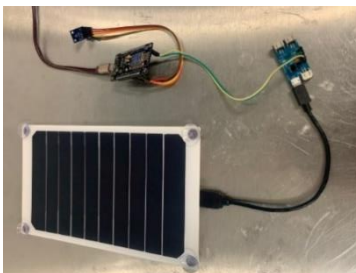


Fig. 7. Desempeño de conectividad. La placa NodeMCU fue capaz de establecer la conexión inalámbrica con la plataforma *myDevices Cayenne*.

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 7. Connectivity performance. The NodeMCU board was able to establish wireless connection with the *myDevices Cayenne* platform.

Source: Own elaboration.

Como se muestra en la **Fig. 8**, los resultados obtenidos fueron visualizados a través de un celular con la aplicación de *myDevices Cayenne* instalada en el sistema IOS, al realizar alguna interferencia física de los rayos solares al prototipo, los valores tanto de voltaje y los de intensidad luminosa, inmediatamente representaron una disminución inmediata de los valores adquiridos, por lo que el tiempo de respuesta a las variaciones de luz fue bastante rápida a través de la plataforma *Cayenne*.

Con la capacidad de monitorear el voltaje de manera remota, es probable realizar algunas tomas de decisiones en un sistema fotovoltaico más robusto es decir, si de manera remota se están obteniendo valores de luminosidad altos y un voltaje inusualmente bajo, es posible que entre la superficie de la celda solar y la incidencia de los rayos solares exista una barrera física, por ejemplo una capa de polvo, esta variación inusual alertaría al operario la necesidad de realizar un proceso de limpieza a la superficie del sistema fotovoltaico o en un caso más extremo, un mantenimiento correctivo más detallado.

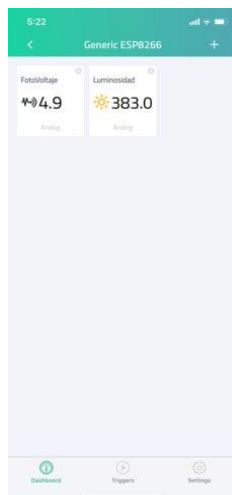


Fig. 8. Interfaz de *myDevices* Cayenne. Lectura a través de un celular con sistema IOS del monitoreo de voltaje de la placa solar y luminosidad del sensor TSL2561 con la aplicación de *myDevices* Cayenne.

Fuente: Tomado de la aplicación oficial de *myDevices* Cayenne.

Fig. 8. *myDevices* Cayenne interface. Reading through a cell phone with IOS system of the solar panel voltage and luminosity monitoring of the TSL2561 sensor with the *myDevices* Cayenne application.

Source: Taken from the official *myDevices* Cayenne app.

Algunos investigadores han reportado el uso de la plataforma IoT adafruit para el monitoreo en la generación de energía eléctrica a partir de una celda solar, dicha plataforma tiene dos modalidades, gratuita siendo limitada y de paga con mayores prestaciones, la placa de programación que usaron fue Arduino Mega, se conectaron varios sensores para medir, corriente, voltaje, temperatura, lo que no mencionan es como fue capaz su dispositivo de mandar los datos a la nube ya que Arduino Mega al poseer un mayor número de entradas y salidas comparadas con la placa NodeMCU empleada en el presente trabajo, carece de la capacidad de conectarse vía remota, posiblemente conectaron el Arduino Mega a un equipo de cómputo por vía USB para poder realizar la conectividad remota hacia la plataforma adafruit (Ali & Paracha, 2020). Por otra parte, (Kodali & John, 2020), usaron la plataforma Amazon Web Services (AWS) para el monitoreo de variables relacionadas al desempeño de la celda solar, la placa de programación que implementaron, fue la misma que en el presente trabajo, con el uso del NodeMCU ellos lograron monitorear el voltaje, la temperatura y el grado de inclinación de la celda solar. También se tiene reportes de trabajos relacionados al mejoramiento del desempeño de una celda solar y que han usado sistemas del IoT para desarrollar prototipos de seguimiento solar acoplado a un módulo fotovoltaico, con un sólo objetivo, asegurar una mayor conversión de energía a lo largo del día a diferencia de una celda solar estática (Saravanan & Lingeshwaran, 2019); inclusive se realizó un proyecto en colaboración entre el gobierno y una universidad, en el desarrollo de un sistema de monitoreo inteligente de una

celda solar, realizando varias versiones al sistema de monitoreo, permaneciendo aún sin ser implementadas de manera general en los sistemas comerciales (Spanias, 2017).

Por lo anterior, constantemente se están desarrollando investigaciones relacionadas al monitoreo y mejoramiento en el aprovechamiento de una celda solar convencional con el uso del IoT. Actualmente, existen una gran cantidad de plataformas que proveen servicios IoT en diversas modalidades de paga o gratuitos, algunas requieren de mayores conocimientos de programación como la plataforma de AWS, siendo la excepción la plataforma *myDevices Cayenne* por ser una plataforma amigable, y fácil de usar, aunado a la flexibilidad que otorga por la capacidad de manejar una variedad de sensores, actuadores y lo más importante está habilitada para manejar varias placas de programación de libre de acceso como Arduino, Raspberry Pi, ESP8266, y LoRa.

Debemos comentar que el gasto energético del procesador ESP8266 de la placa NodeMCU es un factor que se debe de considerar al momento de desarrollar proyectos del IoT, debido a la energía empleada al realizar la conexión a internet por Wi-Fi. De acuerdo al manual de ESP8266 Low Power Solutions, esta desventaja se puede solucionar implementado tres tipos de ahorro de energía que presenta el procesador: Deep-Sleep, Modem-Sleep y Light-Sleep, siendo el Deep-Sleep el modo de ahorro más eficiente (Espressif, 2016), con estas opciones de configuración, la placa NodeMCU es una opción ideal, atractiva y económica para proyectos IoT que puede ser alimentado por baterías de ion de litio.

Con respecto a la plataforma *myDevices Cayenne* presenta algunas ventajas que se enumeran a continuación (1) El diseño de los paneles de control son visualmente agradables e intuitivos. (2) La capacidad de generar un historial con los datos obtenidos por los sensores. (3) Proveer al usuario de gráficos apropiados para un mejor entendimiento del comportamiento de los datos obtenidos. (4) Capacidad de programar alertas que serán emitidas por un mensaje SMS o correo electrónico, (5) Capacidad de dar seguimiento a unidades móviles vía GPS. (6) Flexibilidad de planificación de eventos. (7) La activación de dispositivos de manera automática por medio de actuadores, ofreciendo al usuario un completo monitoreo y control de cualquier proceso en donde se involucre la medición de variables por sensores.

Conclusiones

Con el uso de la plataforma *myDevices Cayenne* se pudo monitorear de manera remota el voltaje y la intensidad luminosa en tiempo real a través de un dispositivo móvil.

La plataforma *myDevices Cayenne* mostró ser compatible con la placa de programación NodeMCU con el microcontrolador ESP8266.

La plataforma *myDevices Cayenne* es simple de usar, ofreciendo en su sitio oficial la documentación necesaria que permitirá al usuario configurar cualquier sistema sin necesidad de tener un nivel de programación avanzado.

Al ser Arduino una plataforma de libre acceso y con una gran cantidad de librerías disponibles, la convierten en una de las favoritas de los programadores para dar soluciones al desarrollo de proyectos del internet de las cosas.

La plataforma *myDevices Cayenne* y la placa NodeMCU es una opción económica y atractiva para dar inicio al desarrollo de proyectos embebidos con la tecnología del internet de las cosas en diversas áreas de interés como agricultura, salud, industria, vivienda, educativa.

Trabajos futuros

Debido a las prestaciones propias de la plataforma *myDevices Cayenne*, se podrán realizar varias mejoras al prototipo, agregando sensores para el monitoreo de la temperatura del entorno y la superficie de la celda solar, la medición de partículas suspendidas en el aire, la estimación de la radiación ultravioleta e infrarroja y el ángulo de inclinación de la celda. Además, de habilitar el uso de alertas y acciones que permitirán un monitoreo íntegro de la celda solar.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Agradecimientos

A la Universidad De La Salle Bajío y a la Universidad del Mar campus Puerto Escondido por las facilidades otorgadas para realizar el presente trabajo y a los revisores anónimos por sus observaciones realizadas en el mejoramiento del presente trabajo.

Referencias

- Alemán, G., Casiano, V., Cárdenas, D., Díaz, R., Scarlet, N., Mahlknecht, J., ... & Parra, R. (2014). Renewable energy research progress in Mexico: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 140-153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.004>
- Ali, M., & Paracha, M. (2020). An IoT based approach for monitoring solar power consumption with Adafruit Cloud. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 4(9), 335-341. DOI: <https://doi.org/10.33564/IJEAST.2020.v04i09.042>
- Arduino (2019). *Arduino Software (IDE)*. Recuperado el 15 de noviembre 2019 de página principal de Arduino: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>
- Bonilla I., Tavizon, A., Morales, M., Guajardo, L., & Laines, C. (2016). IoT, el internet de las cosas y la innovación de sus aplicaciones. *Vinculatégica efan*, (1), 2313-2340. Disponible en http://www.track2iot.com/documentos/iot_el_internet_de_las_cosas.pdf
- Buitrago, R. (2005). La Energía del Sol. *ConCiencia*, 1(14), 8-9. DOI: <https://doi.org/10.14409/cc.v1i14.2184>
- Cayenne (2019). *Login - Cayenne. myDevices Cayenne*. Recuperado 1 de julio de 2019, de https://cayenne.mydevices.com/cayenne/forum_login
- Ceja, J., Rentería, R., Ruelas, R., & Ochoa, G. (2017). Módulo ESP8266 y sus aplicaciones en el internet de las cosas. *Revista de Ingeniería Eléctrica*, 1(2), 24-36. Disponible en <https://docplayer.es/85109596-Modulo-esp8266-y-sus-aplicaciones-en-el-internet-de-las-cosas.html>
- Dumitru, R. (2017). IoT Platforms: Analysis for Building Projects. *Informática Económica*, 21(2), 44-53. DOI: <https://doi.org/10.12948/issn14531305/21.2.2017.04>
- Duque, S. (2017). Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos. *Revista Vector*, 51-60. Disponible en: http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector12_6.pdf
- Espressif (2016). *Manual Low Power Solutions ESP8266 V1.1*. Disponible en: https://www.espressif.com/sites/default/files/9b-esp8266-low_power_solutions_en_0.pdf
- Fernández, M., Moreno, F., Escobedo, P., García, P., Capitán, L., & Martínez, A. (2020). Optical portable instrument for the determination of CO₂ in indoor environments. *Talanta*, 208, 120387. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.120387>
- Fritzing (versión 0.9.4) [software]. (2019). *Interaction Design Lab*. Disponible <https://fritzing.org/>

- Gómez, J., Castaño, S., Mercado, T., Fernández, A., & García, J. (2017). Sistema de Internet de las cosas (IoT) para el monitoreo de cultivos protegidos. *Ingeniería e Innovación*, 5(1), 24-31. DOI: <https://doi.org/10.21897/23460466.1101>
- Green, M. (2009). The path to 25% silicon solar cell efficiency: History of silicon cell evolution. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 17(3), 183-189. DOI: <https://doi.org/10.1002/pip.892>
- Gutiérrez, E., & Rivera, L. (2013). Fuente alterna de energía renovable: Celdas solares orgánicas. *Entreciencias: diálogos en la sociedad del conocimiento*, 1(1), 19-29. DOI: <https://doi.org/10.21933/j.edsc.2013.001.006>
- Hejazi, H., Rajab, H., Cinkler, T., & Lengyel, L. (2018). Survey of platforms for massive IoT. In *2018 IEEE International Conference on Future IoT Technologies (Future IoT)* (pp. 1-8). IEEE.
- Knörig, A., Wettach, R., & Cohen, J. (2009). *Fritzing: a tool for advancing electronic prototyping for designers. Tangible and Embedded Interaction*. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1517664.1517735>
- Kodali, R., & John, J. (2020). Smart monitoring of solar panels using AWS. In *2020 International Conference on Power Electronics & IoT Applications in Renewable Energy and its Control (PARC)* (pp. 422-427). IEEE. DOI: <https://doi/10.1109/PARC49193.2020.236645>
- Lamigueiro, O. (2013). Energía solar fotovoltaica. Creative Commons ebook. España. 192pp.
- López, J., López, F., & García, A. (2018). Aplicación del Internet de las Cosas en la salud: caso en la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica. *Ciencia y poder aéreo*, 13(1), 82-92. DOI: <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.589>
- Muñoz, A., & Guryev, I. (2017). Desarrollo del sistema de control autónomo de la iluminación para domótica. *Jóvenes en la Ciencia*, 2(1), 1033-1036. <http://148.214.90.90/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/1151>
- myDevices (2019). *Cayenne Features. Developer / myDevices.com*. Recuperado 12 de julio de 2019 de página oficial de Cayenne. Disponible en: <https://developers.mydevices.com/cayenne/features/>
- Nakhuva, B., & Champaneria, T. (2015). Study of various internet of things platforms. *International Journal of Computer Science & Engineering Survey*, 6(6), 61-74.

- Nevárez, M., Mecía, W., & Yáñez, V. (2019). Sistema de monitoreo delincriminal en viviendas basado en Internet de las Cosas. *3C Tecnología_Glosas de Innovación Aplicadas a La Pyme*, 8(3), 24-43. DOI: <https://doi.org/10.17993/3ctecno/2019.v8n3e31.24-43>
- Rodríguez, J., Espinoza, E., Rosenbuch, J., Ortega, H., Martínez, M., Cedano, K., & Armenta, M. (2017). *La Industria Solar Fotovoltaica y Fototérmica en México*. Ciudad de México. ProMéxico. 172pp. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/428621/La_industria_solar_fv_y_ft_en_M_xico-compressed.pdf
- Rodríguez, S., López, L., Vega, B., & Flórez, H. (2017). Sistema de monitoreo y control remoto usando IoT para un regulador de presión. *Scientia Et Technica*, 22(4), 391-397. DOI: <https://doi.org/10.22517/23447214.13291>
- Saravanan, D., & Lingeshwaran, T. (2019). *Monitoring of solar panel based on IoT*. IEEE International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN), pp. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSCAN.2019.8878814>
- Singh N., Kumar S., Kanaujia B., Choi H., & Kim K. (2019) Energy-Efficient System Design for Internet of Things (IoT) Devices. In: Mittal M., Tanwar S., Agarwal B., Goyal L. (eds) *Energy Conservation for IoT Devices. Studies in Systems, Decision and Control*, vol 206. Springer, Singapore.
- Spanias, A. (2017). Solar energy management as an Internet of Things (IoT) application. In *2017 8th International Conference on Information, Intelligence, Systems & Applications (IISA)* (pp. 1-4). IEEE. DOI: <https://doi/10.1109/IISA.2017.8316460>.
- Sparkfun (2018). *SparkFun Luminosity Sensor Breakout - TSL2561*. SEN-12055 - SparkFun Electronics. Disponible en: <https://www.sparkfun.com/products/retired/12055>
- Wortmann, F., & Flüchter, K. (2015). Internet of things. *Business & Information Systems Engineering*, 57(3), 221-224. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12599-015-0383-3>
- Zárate, G., Ramos, M., Contreras, L., Belén, J., & González, C. (2018). Diseño y construcción de un prototipo biomédico para la adquisición vía remota de signos vitales utilizando tecnologías del internet de las cosas (IoT). In *Memorias del Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica*, 5(1), 470-473. Disponible en: <http://memorias.somib.org.mx/index.php/memorias/article/view/564/397>