

Design of Device IoT Parameter Collector at Photovoltaic Panels

Rafael Álvarez, César Echeverría, Marvín Fortín and Erick Blanco

Abstract—This paper describes the design and functioning by stages that compose the environmental and electric parameter recollecting device for research Purposes, energetic efficiency, that take place in the production of electric energy using a photovoltaic panel. The device has a local storage through an uSD memory card and remote cloud storage. The device is classified as an IoT device. The information can be accessed through a mobile app. It has temperature, UV rays, light, current, voltage and power sensors. A prototype of the device has been constructed and the results of this prototype are shown in a display and the electric variables were compared using a calibrated multimeter.

Keywords— Internet of Things, Photovoltaic, Photodetector, Power measurement, Voltage measurement, Current measurement, Illuminance, Solar panels, temperature measurement, UV Ray measurement, I²C protocol

I. INTRODUCCIÓN

En El Salvador los últimos años ha evolucionado la matriz energética, las fuentes renovables no convencionales[1] han presentado un aumento considerable, la capacidad instalada hasta el 2018 de energía solar fotovoltaica es del 10% con 215.8 MW[2]. Ante el incremento del uso para la producción de energía solar a través de paneles fotovoltaicos, se propone el diseño de un dispositivo que permita realizar estudios de investigación, eficiencia energética, brindar servicios para el análisis de parámetros ambientales y eléctricos que intervienen en la producción de energía eléctrica de fuentes renovables no convencionales.

Dentro de la industria energética existen dispositivos capaces de realizar mediciones de parámetros eléctricos como el medidor fotovoltaic cell IV Curve teste[3] que es capaz de realizar el ploteo y correlación de los parámetros de voltaje, corriente y potencia mediante una grafica en tiempo real y su precio de mercado oscila entre los \$3500 y los \$5500; sin embargo el BENNING PV2[4] cuya precisión esta sujeta a los estandares DIN EN 62446 (VDE 0126-23) y DIN EN 61829 (VDE 0126-24) posee un precio de mercado de \$1922.49; por otro lado el Seaward PV150 Solar Installation Test Kit[5] es capaz de realizar las mismas mediciones que los equipos anteriores por un precio de 1,399.00 presentandose

Rafael Álvarez, Estudia Ingeniería Electrónica en la Universidad Don Bosco, El Salvador, C.A. (rafaelalvareznuila@gmail.com).

César Echeverría, Estudia Ingeniería Electrónica en la Universidad Don Bosco, El Salvador, C.A (cesarecheverria@outlook.com)

Marvín Fortín, Estudia Ingeniería en Ciencias de la Computación en la Universidad Don Bosco, El Salvador, C.A (marvin.rosafortin@gmail.com)

Erick Blanco, Docente e Investigador en la Facultad de Ingeniería en la Universidad Don Bosco, El Salvador, C.A. (erick.blanco@udb.edu.sv)

como una opción económica en el rubro, sin embargo todos los dispositivos antes mencionados poseen la limitante de ser equipos portátiles por lo que exige al investigador movilizarse periódicamente hasta la instalación y tomar una cantidad reducida de muestras en un periodo largo de tiempo lo cual genera un costo extra en la realización del estudio, a esto se le debe de sumar el hecho de que el costo del equipo empleado vuelve difícilmente accesible a las personas particulares un estudio de eficiencia energética.

recolectar parámetros eléctricos y ambientales de hasta 3 paneles solares; Fig. 1.

El sistema consta de:

- 3 Paneles solares
- Dispositivo de captura, gestión de parámetros eléctricos y ambientales.
- Conexión Wi-Fi
- Nube
- Dispositivos móviles para consulta de información.

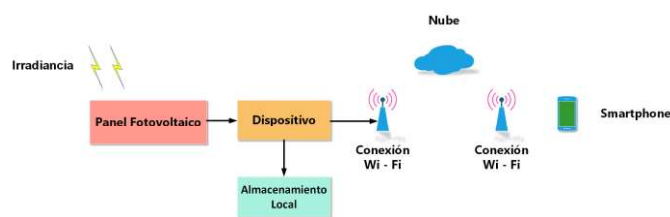


Fig. 1 Sistema de recolector de parámetros ambientales y eléctricos en panel fotovoltaico.

Este artículo está enfocado únicamente en el diseño y desarrollo del dispositivo, se menciona el sistema para poner en contexto al lector sobre el potencial del proyecto en general.

El dispositivo está seccionado en partes: Desde la recolección de parámetros ambientales y eléctricos mediante sensores electrónicos; Elementos que permiten el almacenamiento; Elementos de sincronización del tiempo y hora; Una pantalla para visualizar la información recolectada y además de contar con la transmisión de información vía Wi-Fi el modelo de concepto en bloques se muestra en la Fig. 2. A continuación se detalla cada sección correspondiente al dispositivo.

II. FUNCIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO

El dispositivo inicia la rutina cuando se enciende, luego recolecta los parámetros ambientales, eléctricos y se almacena la información en una memoria, el último paso del proceso es la presentación de la información mediante una pantalla y

además se puede consultar mediante una aplicación móvil.

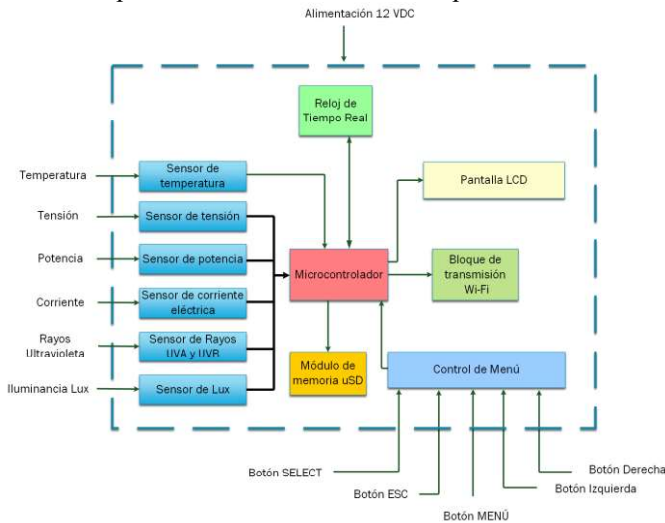


Fig. 2 Modelo de concepto del dispositivo.

La rutina se repite cada 10 minutos, para la sincronización y toma de datos el sistema tiene módulo de reloj de tiempo real (RTC). La rutina dura hasta que el circuito es desenergizado o también puede generar una interrupción y reiniciarse mediante el botón RESET del dispositivo. Ver Fig. 3



Fig. 3 Secuencia de funcionamiento del dispositivo.

III. RECOLECCIÓN DE PARÁMETROS

El dispositivo recolecta parámetros eléctricos y ambientales que intervienen en la producción de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos (paneles solares como algunos los conocen). Los sensores utilizan el protocolo de comunicación I²C. El protocolo I²C permite la conexión de diferentes dispositivos esclavos mediante dos líneas de comunicación, la línea SCL que se encarga del reloj de sincronía y la línea SDA donde viajan los datos de manera bidireccional del esclavo al maestro y viceversa.[6] El dispositivo maestro es el microcontrolador quien solicita la información a través de las líneas de SDA y SCL a cada sensor que posee una dirección única el detalle se muestra en la Tabla 1.

TABLA I. DIRECCIÓN POR SENSOR.

Sensor	Dirección Hexadecimal
Wattimetro 1	0x40
Wattimetro 2	0x41
Wattimetro 3	0x44
Sensor Rayos UVA-UVB	0x10
Lux-Sensor	0x39

La conexión de los sensores se muestra en la Fig. 4 donde también están conectados el RTC y la pantalla LCD. Las líneas de SDA y SCL poseen una tensión de 5VDC en un nivel lógico alto y 0V cuando es nivel lógico bajo. Los sensores y módulos que utilizan la comunicación I²C se energizan mediante el Bus de Tensión que posee +5VDC.

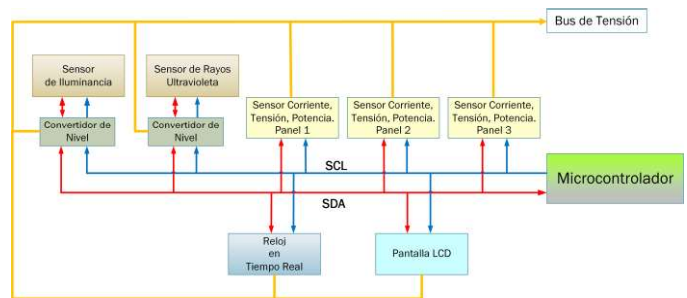


Fig. 4 Conexión de sensores mediante comunicación I²C.

A. Parámetros ambientales

Los parámetros ambientales que pueden medirse y además almacenar mediante el dispositivo se enlistan a continuación:

- Temperatura (°C)
- Rayos ultravioleta (UVA – UVB)
- Iluminancia (Lux).

La temperatura se mide mediante el sensor DS18B2 es un termómetro digital que proporciona 12 bits de información en grados Celcius. Y se comunica mediante el protocolo 1-Wire (1-Cable)[7], este cable es bidireccional, el maestro interroga (microcontrolador) y cada sensor responde según su propia dirección mandando la temperatura en ese instante posee una dirección específica que se muestra en la tabla 2.

TABLA II. DIRECCIÓN POR SENSOR DS18B2

N° Sensor	Dirección Hexadecimal
1	0x28 0xFF 0x6B 0x68 0x85 0x16 0x3 0x56
2	0x28 0xFF 0x6c 0xFF 0x85 0x16 0x4 0xE3
3	0x28 0xFF 0x2B 0x90 0x85 0x16 0x3 0xD2
4	0x28 0xFF 0x3B 0x90 0x85 0x16 0x3 0xAE

Además el dispositivo posee dos sensores que perciben longitudes de onda que pertenecen al espectro electromagnético, como se muestra en la Fig. 5, el primero es el sensor fotoeléctrico: APDS-9301, dicho dispositivo capta

longitudes de onda de luz visible[8], y permitirá medir la iluminancia (Lux).

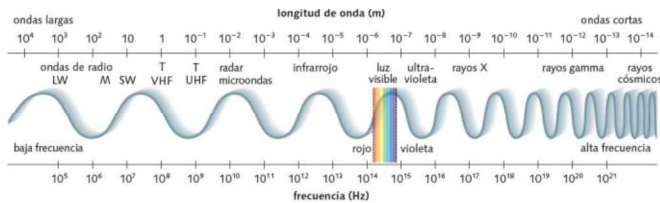


Fig. 5 Espectro electromagnético.[9]

Los rayos ultravioleta UVA y UVB son sensados mediante el VEML6075, el sensor posee una sensibilidad máxima a 365 nm para el canal UVA y 330 nm para el canal UVB. El ancho de banda ($\lambda 0.5$) de este pico de UVB está en un rango de aproximadamente 315 nm a 340 nm. El ancho de banda ($\lambda 0.5$) del canal UVA está dentro de un rango de aproximadamente 350 nm a 375 nm. Su capacidad de respuesta a la irradiancia es aproximadamente la mitad en comparación con el canal UVB.[10]

B. Parámetros Eléctricos

El dispositivo tiene la capacidad de recolectar información de hasta 3 paneles fotovoltaicos, se utiliza un módulo Gestor Eléctrico de Medición para coordinar el momento de aplicar la carga al circuito, al momento de aplicar tensión proveniente del panel y mediante diferentes combinaciones se pueden obtener los parámetros eléctricos enlistados a continuación:

- Tensión de panel fotovoltaico sin carga (V_{oc})
- Tensión de panel fotovoltaico con carga
- Corriente de panel fotovoltaico con carga
- Corriente de panel fotovoltaico en corto circuito (I_{sc})
- Potencia de panel fotovoltaico con carga

INA219 es sensor para medir corriente, tensión y potencia es: es un monitor de corriente de derivación y potencia. Detecta tensión de 0 a 26V e interfaz compatible con I²C o SMBUS, el dispositivo monitorea tanto la caída de tensión en derivación como la alimentación del suministro de bus, con tiempos de conversión y filtrado programables[11].

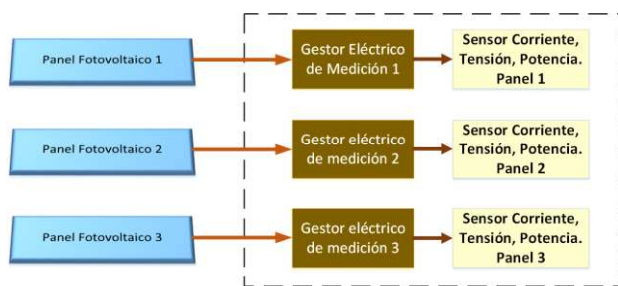


Fig. 6 Elementos que intervienen en la adquisición de parámetros eléctricos.

IV. ALMACENAMIENTO

El sistema de almacenamiento se ejecuta en dos etapas diferentes, la primera etapa corresponde al sistema de almacenamiento local el cual se encarga de llevar los registros en un medio físico extraíble al interior del dispositivo para luego ser enviados en una segunda etapa a un servidor el cual

se encarga del almacenamiento remoto por medio de una nube, de esta forma se genera un respaldo de la información la cual puede ser consultada desde cualquier ubicación que se tenga acceso a internet.

A. Almacenamiento Local

El sistema de almacenamiento local consta de un medio físico (memoria μ SD)[12] dentro del dispositivo en el cual los datos obtenidos de las consultas de los diferentes sensores son ordenados, fechados y guardados de forma periódica dentro de un archivo de extensión TXT, este archivo es creado automáticamente cuando se introduce la memoria μ SD por primera vez. cada consulta tiene un peso de 300 bytes con lo cual en un año de toma de datos ininterrumpidos se pueden obtener hasta 15187.5 Kbyte de información lo cual es equivalente a 0.014484GB por lo que con una memoria de 2 GB se pueden obtener hasta 138 años de datos sin realizar un recambio de la memoria.

El sistema de almacenamiento local sondea el volumen del archivo cada media hora con el objetivo de observar el proceso de llenado del mismo, cuando el archivo a alcanzado un volumen mayor al 85% de la capacidad de la memoria, el sistema de almacenamiento local emitirá una advertencia la cual será visible tanto en el en el dispositivo como en la aplicación móvil.

El sistema de almacenamiento también se genera un segundo archivo TXT en contiene el resultado de las revisiones periódicas a los diferentes sensores con el fin de llevar un registro del estatus del dispositivo, el resultado de estos exámenes también será visibles en la aplicación móvil permitiendo al operario poder gestionar las reparaciones pertinentes.

B. Almacenamiento Remoto (Nube)

Luego de realizado el registro en la memoria física, el sistema realizará una copia de los datos obtenidos los cuales son enviados al dispositivo con conexión Wi-Fi (IoT)[13] el cual se encargará de gestionar el respaldo de la información obtenida subiendo cada uno de los datos, así como los reportes de fallos obtenidos de los chequeos que realiza el sistema a un servidor en el cual funciona como almacenamiento en la nube, permitiendo la consulta de los datos, así como el monitoreo del estado del dispositivo de forma remota[13], esto permite optimizar las consultas de los datos y la gestión de procesos de mantenimiento.

V. PRESENTACIÓN AL USUARIO

A. Interfaz

La interfaz está basada en un menú principal el cual se habilita con un interruptor como medida de seguridad y desde el cual se accede a los diferentes submenús, cada submenú está diseñado para poder ofrecer el mayor control sobre los dispositivos de almacenamiento y transmisión de datos, así como la consulta de los parámetros sondeados en tiempo real.

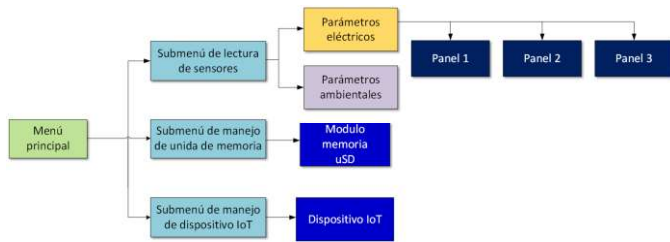


Fig. 7 Elementos que componen la interfaz.

El dispositivo tiene una pantalla LCD[14] con la cual el operario puede interactuar con la interface de forma local, en y puede acceder a los últimos datos almacenados en el dispositivo, así como manipular las opciones de configuración de la memoria micro SD, entre otros, la navegación por los menús es posible debido a cuatro botones direccionales y dos botones uno cuya función es ENTER y el ultimo el cual se encarga de reiniciar el dispositivo (RESET).

VI. RESULTADOS

El dispositivo se ha implementado en protobard con todos los sensores de parámetros ambientales, y parámetros eléctricos. El circuito implementado se muestra en la Fig. 8

El sensor INA219 posee un porcentaje de error de ± 1 mA según la hoja de datos[8] además, se utilizó un multímetro FLUKE 17B+[12][13] con calibración de fábrica hasta diciembre de 2020 para comparar los datos obtenidos por el prototipo implementado. Ver Figura 9. y el resultado en el dispositivo a través del monitor serie. Fig.10

La medición de corriente, tensión y potencia a diferentes cargas, se muestran en la Fig. 11. Todas las variables eléctricas fueron comparadas con el multímetro FLUKE17B+.

El resultado de los parámetros ambientales de intensidad de luz y rayos ultravioleta que son captados por los sensores APDS9301 y VEML6075 se muestra en las Fig. 12.

La implementación del circuito de almacenamiento, RTC, la interfaz del usuario, los botones, la pantalla LCD y el módulo Wi-Fi (dispositivo IoT) se muestra en la Fig. 13.

La implementación de la interface local demostró ser eficiente en la detección de fallas de comunicación entre los diferentes módulos, sin embargo, el tiempo de acción presentó un retardo de aproximadamente 5 minutos con lo cual se deduce que se producirá por lo menos un dato erróneo en la toma de muestras antes que el sistema muestre el fallo, de la misma manera los fallos ocurridos en el módulo de conexión Wi-Fi puede afectar al funcionamiento del dispositivo o parar la toma de muestras, estas fallas pueden ser debidas por fallas en el servicio de internet o por temperaturas de trabajo mayores a los 85 °C.

Si el módulo de conexión Wi-Fi se reinicia mientras el microcontrolador esta escribiendo, éste se reiniciará también y se perderá los datos leídos, dando como resultado datos incompletos o inentendibles es por ello por lo que el

dispositivo debe de ser reiniciado al mismo tiempo que el microcontrolador.

El dispositivo se debe mantener en un lugar que no exceda los 65°C de lo contrario presentará irregularidades en sus funcionamiento así como en la captura de datos principalmente afectados los módulos RTC y micro SD los cuales son más sensibles al calor ambiental, la temperatura se puede reducir colocando un medio de disipación de calor adecuado.

sensibles al calor ambiental, la temperatura se puede reducir colocando un medio de disipación de calor adecuado.

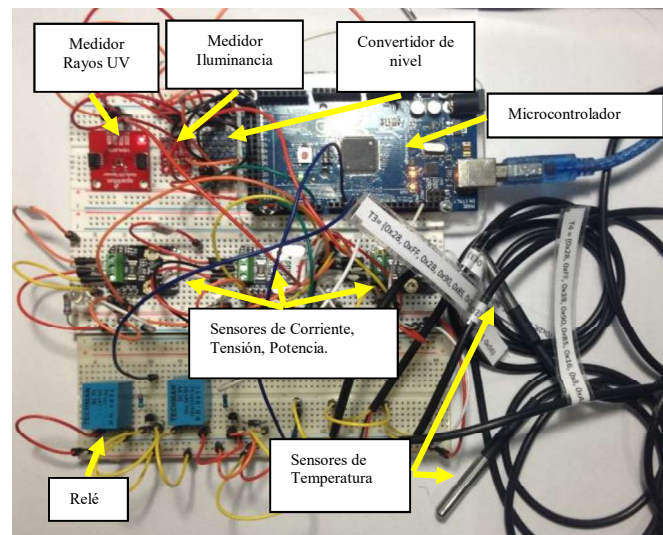


Fig. 8 Circuito de sensores de parámetros ambientales y eléctricos.



Fig. 9 Resultados de medición de corriente en carga mediante el multímetro.



Fig. 10 Resultados de medición de corriente en carga mediante el sensor INA219 mostrado en monitor serie

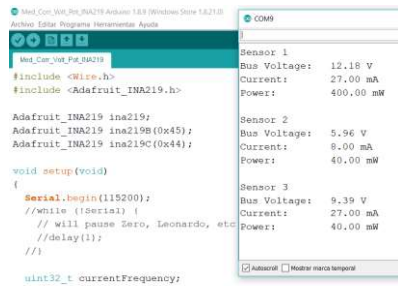


Fig. 11 Resultados parámetros eléctricos: Corriente, Tensión, Potencia.



Fig. 12 Resultados de parámetros ambientales: Nivel de Irradiancia, Índice UV, Iluminencia(Lux).

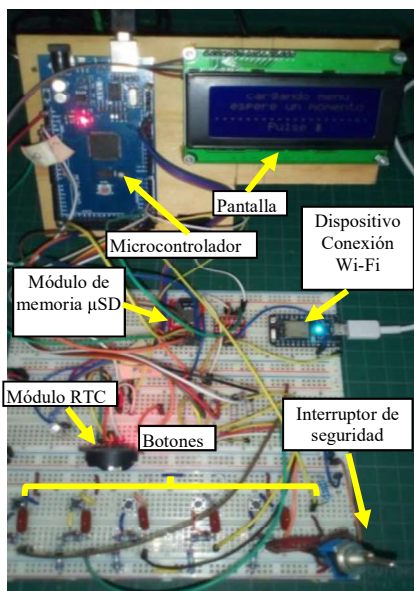


Fig. 13 Conexión de elementos de almacenamiento, conexión a Wi-Fi, interfaz al usuario.

VIII. CONCLUSIONES

En este trabajo, se implementó un dispositivo que permite medir parámetros de interés en el desempeño de paneles solares fotovoltaicos principalmente para hacer comparaciones de funcionamiento de paneles de la misma tecnología colocados en diferentes inclinaciones o comparar el desempeño de tres paneles de diferentes marcas y características similares, con el propósito de establecer, por medio de criterios técnicos, la mejor opción para emplazar los paneles fotovoltaicos bajo las condiciones ambientales propias de un sitio de interés. Eléctricamente, el dispositivo verifica el comportamiento de los paneles determinando cada diez minutos, la corriente de cortocircuito, la tensión de circuito abierto, así como la corriente y tensión en una carga resistiva

que representa aproximadamente el 30% de la capacidad de potencia de cada uno de los paneles, estableciendo con certeza, cuál de los paneles posee el desempeño óptimo bajo condiciones de carga, todo lo anterior respaldado con almacenamiento de datos que el usuario puede descargar en el sitio o de manera remota.

IX. TRABAJOS A FUTURO.

Se pretende que mas adelante el dispositivo propuesto sea capaz de transmitir la información a un servidor privado y que dicha información sea capaz de ser procesada y consultada en línea por una aplicación multiplataforma, en el que se presente la información de todos los dispositivos enlazados a la cuenta del usuario de forma gráfica y dinámica, con el objetivo de facilitar el análisis de dicha información, así como la posibilidad de descargar de forma online el archivo con los datos recolectados hasta ese momento para posteriores análisis.

Para posteriores rediseños se pretende realizar una integración de elementos a nivel de Placa de Circuito Impreso (PCB) eliminando y optimizando los modules prefabricados debido a que al ser de propósito general estos utilizan mayor cantidad de recursos de lo que lo haría un circuito optimizado, eliminando a su vez problemas de posibles ruidos electromagnéticos entre las uniones de los pines soldados así como los pequeños efectos capacitivo que se forman entre ambas placas de la PCB.

REFERENCIAS

- [1] GOBIERNO_SV, "Reglamento de la Ley General de Electricidad," San Salvador, El Salvador, 1996.
- [2] C. N. Energía, "Boletín de Energías Renovables, Primer Trimestre," San Salvador, El Salvador, 2019.
- [3] NOVTEC, "High precise portable photovoltaic systems photovoltaic solar panel IV Curve tester." [Online]. Available: https://www.alibaba.com/product-detail/High-precise-portable-photovoltaic-systems-photovoltaic_60513670810.html?spm=a2700.7724857.normalList.2.483a1592TanePU.
- [4] B. E. und E. G. & C. KG, "Installation tester for photovoltaic systems and curve tracer BENNING PV 2," 2019. [Online]. Available: <https://www.benning.de/products-en/testing-measuring-and-safety-equipment/measuring-devices-for-photovoltaic/pv-2.html>.
- [5] SEAWARD, "Seaward PV150 Solar Installation Test Kit," 2019. [Online]. Available: http://www.keison.com.pa/seaward_PV150.shtml.
- [6] N. Semiconductors, *I2C-bus specification and user manual*, 6th ed. Netherlands: NXP Semiconductors, 2014.
- [7] M. Integrated, "DS18B20, Datasheet." Maxim Integrated, San Jose, CA, p. 20, 2018.
- [8] A. TECHNOLOGIES, "APDS-9301- Miniature Ambient Light Photo Sensor with Digital (I2C) Output- Data Sheet." Avago Technologies, p. 20, 2010.
- [9] I. P. Gallardo, *Proyecto Adarve 4º ESO*, 1st ed. España, 2012.
- [10] V. Semiconductors, "UVA and UVB Light Sensor with I2C Interface." Vishay Semiconductors, p. 11, 2016.
- [11] T. Instruments, "INA219, Zero-Drift, Bidirectional Current/Power Monitor With I 2C Interface, Datasheet." Texas Instrument, Dallas, Texas, p. 38, 2015.
- [12] "Sistema de archivos de tarjeta SD - Libro de cocina | Mbed." [Online]. Available: <https://os.mbed.com/cookbook/SD-Card-File-System>. [Accessed: 19-Jun-2019].
- [13] "Documentación de referencia de partículas | API del SO del dispositivo." [Online]. Available: <https://docs.particle.io/reference/device-os/firmware/photon/#cloud->

- functions. [Accessed: 19-Jun-2019].
- [14] “Tutorial LCD con I2C, controla un LCD con solo dos pines.” [Online]. Available: https://www.naylampmechatronics.com/blog/35_Tutorial--LCD-con-I2C-controla-un-LCD-con-so.html. [Accessed: 19-Jun-2019].
- [15] F. Corporation, “15B+/17B+/18B+ User Manual FLUKE.” Fluke Corporation, Everett, WA, p. 28, 2014.
- [16] F. Corporation, “Fluke 15B+/17B+ Digital Multimeters.” Fluke Corporation, Everett, WA, p. 3, 2014.