

**CONSTRUCCIÓN DE DISPOSITIVO BASADO IoT PARA MEDICIÓN DE  
LAS VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA GENERACIÓN DE  
ENERGÍA PARA INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS**

**Autores:**

Luisa Fernanda Celada Guisao

Brayan Velásquez Arango

Mariana Vergara Sierra

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA  
MEDELLÍN  
2022**

**CONSTRUCCIÓN DE DISPOSITIVO BASADO IoT PARA MEDICIÓN DE  
LAS VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA GENERACIÓN DE  
ENERGÍA PARA INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS**

**Autores:**

Luisa Fernanda Celada Guisao

Brayan Velásquez Arango

Mariana Vergara Sierra

**Trabajo de grado para optar al título de Tecnólogo en Electricidad**

**Asesor:**

Mateo Rico

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA  
MEDELLÍN  
2022**

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, le agradecemos a Dios y a nuestras familias por el apoyo y comprensión durante estos 3 años de estudio. También agradecemos a la Institución Universitaria Pascual Bravo por permitirnos cumplir nuestro sueño de ser tecnólogos en electricidad y, por último, agradecemos a la profe Mateo Rico por su paciencia y dedicación durante este tiempo de realización del proyecto de grado.

# CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN.....	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.1 Descripción.....	14
1.2 Formulación.....	15
2. JUSTIFICACIÓN.....	16
3. OBJETIVOS.....	17
3.1 Objetivo general.....	17
3.2 Objetivos específicos.....	17
4. MARCO TEÓRICO.....	18
4.1 Energía solar.....	18
4.1 Energía solar térmica.....	19
4.2 Energía solar fotovoltaica.....	20
4.2.1 Celdas fotovoltaicas.....	22
4.2.2 Los acumuladores o baterías.....	22
4.2.3 Regulador.....	23
4.2.4 El inversor.....	23
4.3 Dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico.....	24
4.4 Dispositivos IoT.....	24
4.5 Estado del arte.....	27
5. METODOLOGÍA.....	31
6. RESULTADOS.....	32
6.1 Variables de interés identificadas.....	32
6.2 Selección de los componentes.....	32
6.2.1 Sensor ambiental:.....	32
6.2.2 Sensor de luz.....	33
6.2.3 Sensor de voltaje.....	34
6.2.4 Diodo led de alta luminosidad.....	35
6.2.5 Microprocesador.....	36
6.2.6 Cables de conexión.....	37
6.2.7 Cargador de batería.....	38

6.2.8 Batería.....	38
6.2.9 Caja de termoplástica de empalme. ....	39
6.3 Ensamble del dispositivo IoT.....	40
6.3.1 Instalación de los componentes dentro de la caja termoplástica de empalme.....	40
6.4 Estrategia de captura de datos.....	45
6.4.1 Ambiente interno.....	45
6.4.1 Ambiente externo.....	46
6.5 Resultados de las pruebas.....	46
7. CONCLUSIONES .....	54
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	56

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Energía solar: a) Térmica y b) fotovoltaica.....	18
Figura 2. Planta de energía solar térmica de alta temperatura.....	19
Figura 3. Planta de energía solar térmica de media temperatura.....	19
Figura 4. Planta de energía solar térmica de media temperatura.....	20
Figura 5. Componentes de una celda solar fotovoltaica. ....	20
Figura 6. Tipos de paneles solares.....	21
Figura 7. Componentes de una instalación solar fotovoltaica.....	21
Figura 8. Dispositivos IoT para el control de equipos y sistemas. ....	25
Figura 9. Microprocesador o microcontrolador. ....	27
Figura 10. Escenario con dispositivos IoT en software Opnet.....	28
Figura 11. Configuración general de una red usando LORAWAN.....	29
Figura 12. Diseño de sistema IoT de cicloparqueadero inteligente. ....	30
Figura 13. Esquema de pensamiento que tiene el autor sobre la implementación de sistema IoT. ....	30
Figura 14. Sensor ambiental medidor de Humedad, temperatura y material particulado, vista frontal y trasera. ....	32
Figura 15. Modulo Sensor De Luz Iluminación Fotorresistencia Arduino.....	33
Figura 16. Módulo Sensor de Voltaje 0 ~ 25V DC.....	34
Figura 17. Diodos led de alta luminosidad. ....	35
Figura 18. Tarjeta de montaje del microprocesador vista frontal y trasera.....	36
Figura 19. Microprocesador vista frontal y trasera.....	36
Figura 20. Cables de conexión Qwiic.....	37
Figura 21. Cargador de batería SparkFun. ....	38
Figura 22. Batería de Baterías Ion Litio 1Ah. ....	38
Figura 23. Caja termoplástica de empalme marca Binson seleccionada. ....	39
Figura 24. Caja termoplástica de empalme y silicona líquida utilizada.....	40
Figura 25. Sensor de Voltaje instalado y pegado con silicona líquida. ....	41
Figura 26. Componentes con tornillos plásticos para dar estabilidad.....	41
Figura 27. Vista general de los componentes ubicados internos conectados. ....	42
Figura 28. Conexión del panel solar al sensor de voltaje.....	42
Figura 29. Instalación de sensor de espectro visible.....	43

Figura 30. Cables número 12 soldados al panel solar.....	43
Figura 31. Vidrio de protección instalado para el sensor de espectro visible. ....	44
Figura 32. Dispositivo IoT construido.....	44
Figura 33. Conexión del dispositivo IoT creado. ....	45
Figura 34. Simulación de ambiente interno. ....	45
Figura 35. Prueba realizada en ambiente externo.....	46

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Características del sensor ambiental seleccionado. ....	33
Tabla 2. Características del sensor de espectro visible seleccionado. ....	34
Tabla 3. características del sensor de voltaje seleccionado. ....	35
Tabla 4. características del diodo de alta luminosidad seleccionado. ....	35
Tabla 5. Características del microprocesador seleccionado. ....	37
Tabla 6. Características de los cables Qwiic seleccionados. ....	37
Tabla 7. Características del cargador USB seleccionado. ....	38
Tabla 8. Características de la batería seleccionada. ....	39
Tabla 9. Características de la caja termoplástica de empalme seleccionada. ....	39

## LISTA DE GRÁFICAS

	<b>Pág.</b>
Gráfica 1. Temperatura vs Tiempo en los dos tipos de ambientes. ....	46
Gráfica 2. Presión vs tiempo en los dos tipos de ambientes. ....	47
Gráfica 3. Altitud vs Tiempo en los dos tipos de ambientes. ....	47
Gráfica 4. Humedad vs Tiempo en los dos ambientes. ....	48
Gráfica 5. CO <sub>2</sub> vs Tiempo en los dos ambientes. ....	48
Gráfica 6. TVOC vs Tiempo en los dos ambientes. ....	49
Gráfica 7. Material particulado vs Tiempo en los dos ambientes. ....	49
Gráfica 8. Luz violeta vs Tiempo en las dos pruebas. ....	50
Gráfica 9. Luz azul vs Tiempo en las dos pruebas. ....	50
Gráfica 10. Luz verde vs Tiempo en los dos ambiente. ....	51
Gráfica 11. Luz amarilla vs Tiempo. ....	51
Gráfica 12. Luz naranja vs Tiempo en los dos ambientes. ....	51
Gráfica 13. Luz roja vs Tiempo en los dos ambientes. ....	52
Gráfica 14. Voltaje vs Tiempo en los dos ambientes. ....	52

## **GLOSARIO**

**IDEAM:** Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

**IoT:** Internet de las cosas.

**ISF:** Instalación Solar Fotovoltaica.

**DANE:** Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

**SIEL:** Sistema de Información Energético Colombiano.

**SIMEC:** Sistema de Información Minero Energética.

**UNEF:** Unión Española Fotovoltaica.

**UPME:** Unidad de Planeación Minero-Energética.

## RESUMEN

# CONSTRUCCIÓN DE DISPOSITIVO BASADO IoT PARA MEDICIÓN DE LAS VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA PARA INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

### Autores:

Luisa Fernanda Celada Guisao  
Brayan Velásquez Arango  
Mariana Vergara Sierra

La energía solar fotovoltaica se ha convertido en los últimos años en una de las alternativas más promisorias para la generar energía eléctrica, debido a su baja contaminación, por ser una fuente inagotable de energía y porque puede ser utilizada en zonas rurales o no interconectadas como urbanas. Todo esto ha impulsado innumerables investigaciones con el fin de mejorar su eficiencia y definir su implementación o no implementación, además, se desea conocer sobre los posibles inconvenientes que se pueden encontrar durante su funcionamiento que afectan su generación.

Teniendo en cuenta lo dicho anterior, se realizó un estudio de las variables físicas externas o ambientales que pueden afectan este tipo de sistemas, mediante el diseño y construcción de un dispositivo IoT que se encargue de medir y evaluar las afectaciones causadas durante la generación de energía eléctrica en sistemas solares fotovoltaicos en el departamento de Antioquia más específicamente en la ciudad de Medellín, lo cual permitirá definir de forma correcta las dimensiones reales de este tipo de instalaciones en relación a espacio y numero de paneles requeridos mediante este tipo de dispositivo el cual puede trabajar de forma remota.

Desde luego, para garantizar la validez de los datos recolectados por el dispositivo IoT diseñado, se realizaron pruebas en un ambiente interior con luz artificial, considerando variables como: radiación en diferentes espectros (visible, infrarrojo cercano, entre otros), temperatura, presión atmosférica, humedad y concentración de CO<sub>2</sub>.

**Palabras claves:** Sistemas solares fotovoltaicos, Dispositivos IoT, radiación solar, variables ambientales.

# INTRODUCCIÓN

El aumento de la demanda energética a nivel mundial está relacionado con el crecimiento de la población; por tal motivo, sus dirigentes están en la obligación de promover proyectos de índole energético con el fin de satisfacer dicho requerimiento, pero sin aumentar el impacto ambiental generado. Por tal motivo, muchos países están tratando de diversificar su matriz energética actual e incluir fuentes de energía alternativas o amigables con el medio ambiente.

Una de estas energías es la energía solar, clasificada como: térmica y fotovoltaica, la cual es utilizada por países industrializados donde sus sistemas de generación de energía están bien estructurados y no están expuestos a tantas problemáticas de índole político, ambiental y social como el colombiano. Esta fuente de energía ofrece muchas ventajas en comparación con las tradicionales de origen fósil y hídrico existentes en Colombia, pero para su entrada o implementación, se deben realizar estudios minuciosos de diferentes variables de origen ambiental, económico que ponen en duda su utilidad aceptabilidad.

Debido a lo antes mencionado, se diseñó y se construyó un dispositivo IoT que permitirá medir y evaluar las variables generadas por condiciones externas al sistema, las cuales puedan afectar su correcto funcionamiento y por ende la generación de energía eléctrica en sistemas solares fotovoltaicos. Estos dispositivos IoT, ofrecen muchas ventajas porque pueden adquirir distintos tipos de datos de variables físicas por medio de sensores, las cuales son integradas a través de protocolos de comunicación y luego son enviadas a una base de datos para ser analizadas en tiempo real permitiendo evaluar las afectaciones causadas por dichas variables en cualquier sistema, las cuales pueden ser procesadas y analizadas para la toma de decisiones y el mejoramiento continuo del propio sistema.

Este trabajo está compuesto por 5 capítulos principales: El primero es la introducción donde se describe de forma general el tema a trabajar y su justificación. El segundo capítulo es el marco teórico producto de la búsqueda bibliográfica realizada en las diferentes bases de datos como repositorios institucionales y sitios web en relación con la problemática planteada. Luego tenemos la metodología, la cual está compuesta por varias actividades, las cuales se irán desarrollando progresivamente permitiendo alcanzar el objetivo general que es el diseño y construcción de un

dispositivo IoT para la medición y evaluación de las variables externas que afectan el funcionamiento de sistemas solares fotovoltaicos.

En el cuarto capítulo, está descrito de forma detallada los resultados obtenidos con respecto a cada una de las actividades realizadas durante la realización del trabajo y, por último, se encuentran las conclusiones producto del análisis realizado a los resultados obtenidos, las cuales servirán como guía para trabajos futuros en relación con el tema trabajado como para el mejoramiento del diseño realizado.

# 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1 Descripción

La energía solar es una fuente de energía renovable e inagotable que se obtiene del sol y con la cual se puede calentar un fluido o generar energía eléctrica. Existen varias maneras de recoger y aprovechar los rayos del sol, por ejemplo: las celdas solares permiten convertir la radiación solar en energía eléctrica mediante la utilización de sistemas solares fotovoltaicos y es la que se va a investigar o tratar en este proyecto.

La diversidad de climas y la radiación solar promedio de algunos departamentos del territorio colombiano muestra el gran potencial existente en el país, por ejemplo: el departamento de Antioquia cuenta con una radiación solar promedio de 4,5 kW/m<sup>2</sup> (Ideam, 2022). Entonces se podría hablar de generación de energía eléctrica mediante celdas solares por ser una fuente de energía amigable con el medio ambiente e inagotable, por tal motivo, es indispensable evaluar estrategias que permitan aprovechar la mayor cantidad de energía disponible.

Pero estos sistemas de generación de energía eléctrica son muy sensibles a las condiciones ambientales, por tal motivo, es indispensable determinar la cantidad de energía eléctrica real generada para poder determinar su dimensionamiento, el cual puede realizarse basado en las características ambientales y en la radiación solar promedio de la zona de instalación del sistema. Sin embargo, estas estimaciones pueden diferir en la instalación real debido a varios aspectos, por ejemplo, que el mapa de radiación no sea exacto para la zona. Por esto, la mejor forma de determinar la cantidad de energía generada es haciendo mediciones del voltaje y corriente entregada por la instalación.

Por todo lo antes mencionado, se propone desarrollar un dispositivo de medición IoT usando sensores de bajo costo para medir la cantidad de energía real generada por sistemas solares fotovoltaicos en el departamento de Antioquia, pues se ha evidenciado que los paneles solares, no tienen un sistema de análisis que regule la generación de energía producida; por lo cual, se identificó la necesidad de mejorar este tipo de generación de energía mediante un sistema IoT, que se encargará del análisis de los datos del ambiente para evaluar la cantidad de energía que se puede

llegar a producir en determinado tiempo; teniendo en cuenta la variación del clima y ubicación de instalación del panel solar.

## **1.2 Formulación**

¿Cómo caracterizar la generación de energía eléctrica con sistemas solares fotovoltaicos, mediante la implementación de un dispositivo IoT para la recolección y análisis de datos que permita determinar la cantidad de energía real generada?

## 2. JUSTIFICACIÓN

La generación de energía eléctrica mediante el uso de celdas solares es una de las tecnologías de mayor crecimiento en los últimos años, impulsando múltiples proyectos de investigación que generan productos tecnológicos para el mejoramiento de la eficiencia de estos sistemas. Este tipo de generación es muy sensible a las variables ambientales tales como: cantidad de radiación, nubosidad y material particulado o polvo; que pueden afectar el rendimiento de la instalación reduciendo en gran parte la generación de energía. Una forma de identificar la eficiencia de generación es caracterizar las condiciones ambientales para relacionarlas con la cantidad de energía generada. Se ha notado que el diseño de estos sistemas de generación, se elaboran con pocos datos o datos desactualizados y/o que fueron medidos en ubicaciones diferentes a las que serían el lugar final de instalación del sistema de generación; los cuales tienen condiciones de radiación y de operación diferentes a la ubicación de uso final, lo que puede exagerar o minimizar los costos de inversión y obtener un servicio de mala calidad.

Una forma de mejorar la caracterización ambiental de estos sistemas es la integración de dispositivos inteligentes para la adquisición y análisis de datos a partir de mediciones, para esto se pueden utilizar sensores de bajo costo y dispositivos con tecnología IoT, los cuales posibilitando esta actividad en tiempo real y en sitio de la instalación, sin estar presente ósea con monitorización desatendida o remota.

Tomando esto en consideración, se diseñó y construyó un dispositivo de medición de variables ambientales con tecnología IoT de bajo costo, para registrar la radiación lumínica incidente en una celda solar fotovoltaica con el objetivo de relacionarla con la cantidad de energía generada. Desde luego, para garantizar la validez de los datos recolectados por el dispositivo IoT diseñado, se realizarán pruebas en un entorno controlado con luz artificial, considerando variables como: radiación en diferentes espectros (visible, infrarrojo cercano, entre otros), temperatura, presión atmosférica, humedad y concentración de CO<sub>2</sub>.

La principal contribución de este proyecto es creación de un prototipo o dispositivo IoT que permita caracterizar las variables externas que afectan la generación de energía eléctrica en sistema solares fotovoltaicos en diferentes escenarios, las cuales pueden ser analizadas para la mejora de su eficiencia.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1 Objetivo general**

Desarrollar un dispositivo IoT para medición de las variables que intervienen en la generación de energía en las instalaciones fotovoltaicas usando luz artificial para generar un ambiente interior y exterior con sensores de bajo costo.

### **3.2 Objetivos específicos**

Construir un dispositivo utilizando un sistema IoT, con el cual se puedan tomar datos de las diferentes variables que afectan la generación de energía con paneles solares.

Instalar el dispositivo creado para la toma de variables en un panel solar, para tener en tiempo real los datos de las diferentes variables ambientales que afecten la generación de energía solar.

Analizar los datos obtenidos del dispositivo IoT, creando un insumo con dichos datos para proceder a tomar decisiones que mejoren la calidad de la generación de energía solar con paneles solares.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 Energía solar

El sol, nuestra principal estrella, está compuesto por 74,9 % de hidrógeno, 23,6 % de oxígeno, 1 % de helio, 0,3 % de carbono y el 0,2 % restante de neón y hierro, además es 109 veces más grande que la tierra. Hoy en día la energía solar, se utiliza principalmente para el calentamiento de agua y para sistemas de calefacción en muchas regiones de Europa; la energía solar fotovoltaica es la energía renovable con más futuro y en 40 años sustituirá a las energías convencionales derivadas del petróleo (Cano, 2009), ver Figura 1.

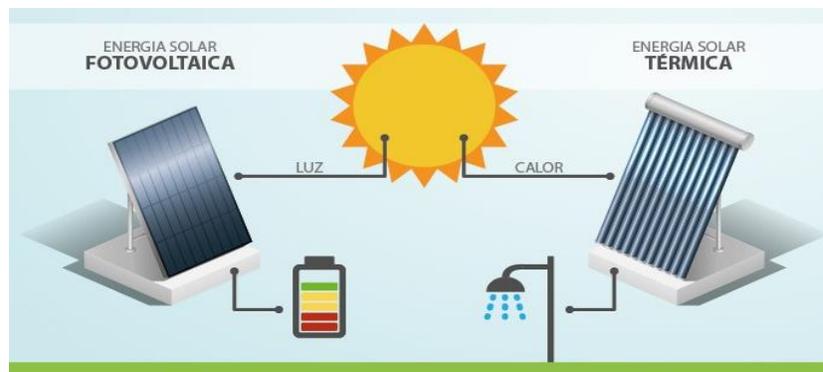


Figura 1. Energía solar: a) Térmica y b) fotovoltaica.  
Fuente: (Rabada, 2022).

Ya no se pueden pensar en una vida sin energía eléctrica, debido a que es uno de los principales indicadores del desarrollo de la población y gracias a ella, se tiene acceso a la televisión, radio, internet, permite a su vez calentar y conservar los alimentos y, por último, tenemos acceso a la educación. Todo esto hace que muchos países invierten grandes cantidades de dinero en proyectos de índole energético que les permita satisfacer las necesidades de su población y mejorar su nivel de vida.

En los últimos años, se ha escuchado hablar de la sobre explotación de los recursos fósiles debido a la creciente demanda energética la cual está relacionada con el aumento de la población y como estos contaminan el medio ambiente (Frost & Euronews, 2021). Por tal motivo, se promueve el cambio a fuentes de energía renovables o no convencionales como la solar y la eólica, generando investigaciones relacionadas con su implementación, mejoramiento de la eficiencia y aprovechamiento máximo de estos recursos.

## 4.1 Energía solar térmica

Pero que se sabe de la energía solar, esta es promocionada como la una de las fuentes de energía renovable con más proyección a nivel mundial en los últimos años y de la cual existe dos tipos: la energía solar: térmica y fotovoltaica (Balleteros, 2016). La primera, tiene como función principal captar la energía radiada por el sol y convertirla en energía térmica utilizando como fluido de trabajo el agua destinada para el uso residencial o industrial. Existen tres tipos de energía solar térmica: Las plantas de alta temperatura, se utilizan para generar electricidad, las cuales trabajan con temperaturas mayores a los 500 °C (Rabada, 2022), ver Figura 2.

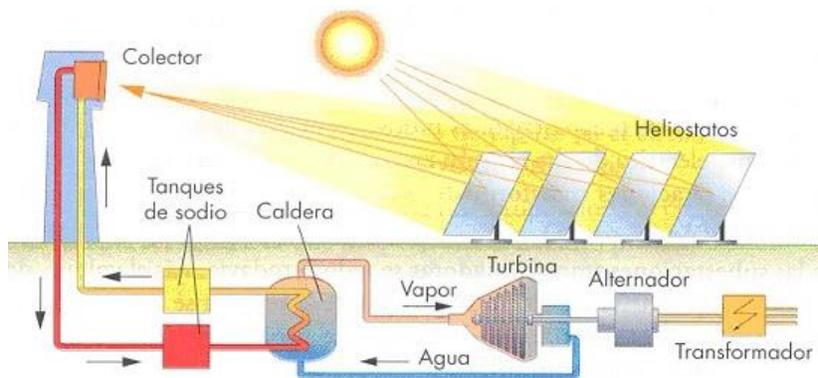


Figura 2. Planta de energía solar térmica de alta temperatura.  
Fuente: (Electrotecnica, 2014).

Las plantas de media temperatura trabajan con temperaturas entre los 100 y 300 °C donde se utilizan colectores solares parabólicos, los cuales son los encargados de concentrar o direccionar la radiación solar recibida hacia una tubería por la cual circula agua o un líquido refrigerante y generar vapor para mover una turbina (Rabada, 2022), ver Figura 3.

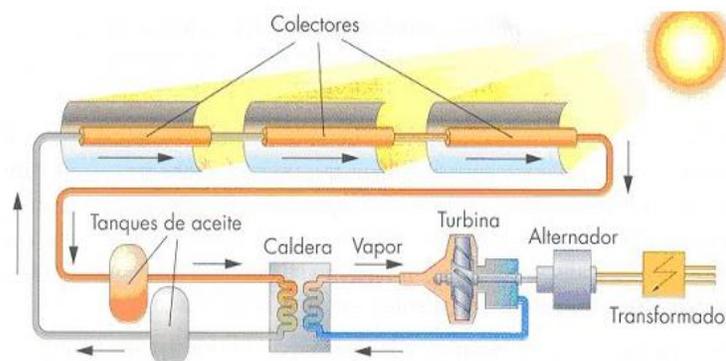


Figura 3. Planta de energía solar térmica de media temperatura.  
Fuente: (Electrotecnica, 2014).

Por último, tenemos las instalaciones de baja temperatura se utilizan habitualmente en viviendas, las cuales trabajan con temperatura menores a los  $65^{\circ}\text{C}$ , estas utilizan colectores solares por donde circula agua dentro de tubos para ser calentada (Rabada, 2022), ver Figura 4.

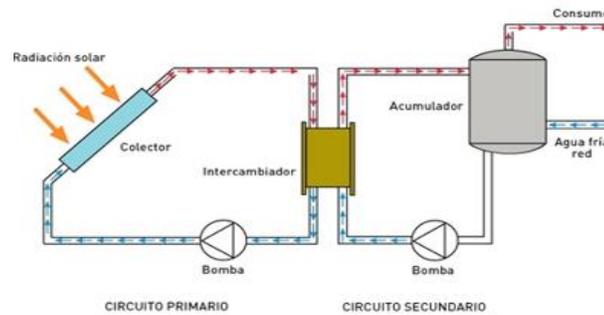


Figura 4. Planta de energía solar térmica de media temperatura.  
Fuente: (Electrotecnica, 2014).

## 4.2 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica aprovecha la radiación electromagnética emitida por el sol por medio de celdas solares que la convierten en energía eléctrica de forma directa, estas celdas están compuestas por materiales que tienen la capacidad de absorber fotones de luz y emiten electrones libres los cuales son capturados y como resultado es una corriente eléctrica (Cabrera, 2017), ver Figura 5.

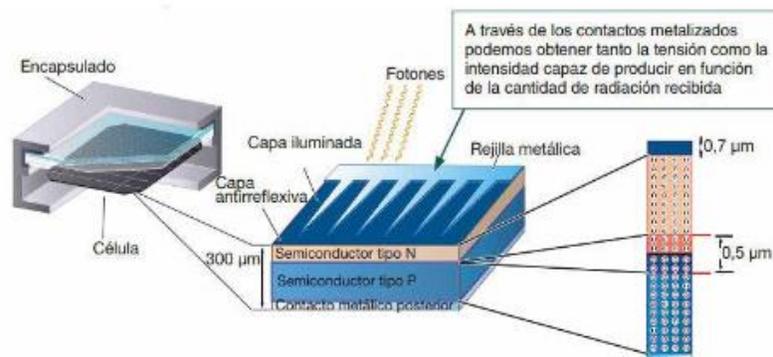


Figura 5. Componentes de una celda solar fotovoltaica.  
Fuente: (Cabrera, 2017).

Existen varios tipos de celdas solares, entre ellas los monocristalinos, policristalino y de capa fina, pero siempre tienen como base el silicio, la diferencia está en la cantidad de silicio que posee la celda y por ende mayor eficiencia a la hora de convertir energía solar en eléctrica (Gomez, 2012), ver Figura 6.

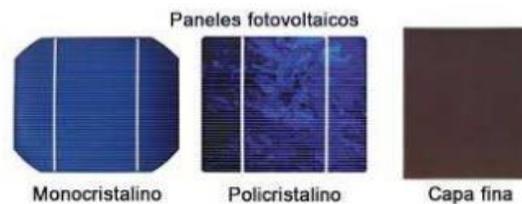


Figura 6. Tipos de paneles solares.  
Fuente: (Gomez, 2012).

Los monocristalinos poseen la mayor eficiencia 21 %, pero son más costosos que los demás, los policristalinos son más fáciles de fabricar, pero son menos eficientes 15 %, pero a su vez soportan mayor calor, son los más baratos pero su eficiencia es baja 10 %, por lo tanto, se necesita mayor espacio para generar la misma cantidad de energía eléctrica (Gomez, 2012).

Los componentes fundamentales en una instalación fotovoltaica son los siguientes:

- Celdas y paneles fotovoltaicos
- Acumuladores
- Reguladores de carga
- Estructura
- Conectores e interruptores

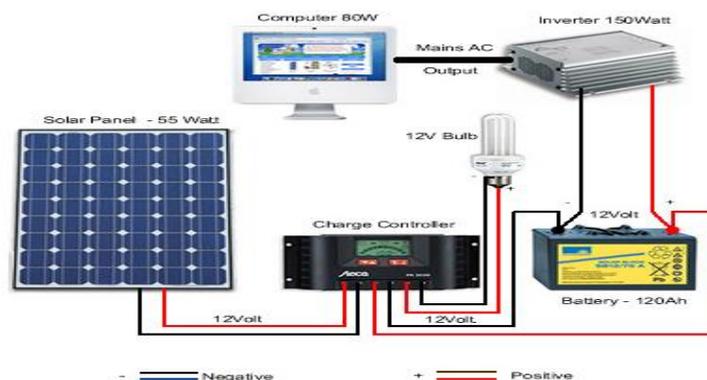


Figura 7. Componentes de una instalación solar fotovoltaica.  
Fuente: (Canarias, 2010).

**4.2.1 Celdas fotovoltaicas.** Estas funcionan bajo la acción de radiaciones luminosas, comúnmente están hechas de silicio con materiales metálicos, este efecto puede ser de tres formas (Canarias, 2010):

- Efecto fotoemisivo o fotoexterno: Provoca un arranque de electrones con liberación de estos.
- Efecto fotoconductor o fotointerno: Modifica la conductividad eléctrica del material.
- Efecto fotovoltaico: Crea una fuerza electromotriz en el material.

Los más utilizados son los de efecto fotovoltaico, generando un paso de corriente proporcional al flujo luminoso, esta energía es capaz de desprender electrones del núcleo, los cuales empiezan a circular por el semiconductor generando un campo eléctrico.

Existen diferentes tipos de celdas fotovoltaicas y cada uno posee sus características especiales:

- Células de arseniuro de galio. Rendimiento cercano al 27% - 28%, tecnología poco avanzada y costes elevados.
- Células de sulfuro de cadmio y sulfuro de azufre. Bajos rendimientos. Posible alternativa de bajo coste en el futuro.
- Células bifaciales. Células activas en sus dos caras. Rendimiento cercano al 30% pero muy caras y complejidad en la instalación.
- Células de silicio amorfo. Posee la ventaja de que su espesor llega a ser 50 veces más fino que el equivalente en células de silicio monocristalino. Eficiencia en torno al 9%, pudiendo aumentar en las versiones multicapa. Costes muy económicos.
- Células de silicio policristalino. Rendimiento de hasta el 14%. Posibilidad de producir las directamente en forma cuadrada, por lo que no es necesario el posterior mecanizado.
- Células de silicio monocristalino. Son las más empleadas en la actualidad. No olvidemos que el silicio es el material más abundante en la Tierra después del oxígeno.

**4.2.2 Los acumuladores o baterías.** Estos equipos son utilizados para almacenar la energía producida por los módulos fotovoltaicos, garantizando un suministro de energía uniforme y constante, porque la energía solar llega a los módulos fotovoltaicos de manera no uniforme,

además en las horas de la noche donde el sol no está presente permite el funcionamiento de los equipos conectados al sistema (Tudela, 2013).

Las baterías son dispositivos que convierten la energía química en eléctrica, una batería debe poseer las siguientes características:

- Bajo mantenimiento
- Depósito para materiales sueltos
- Vasos transparentes
- Buen funcionamiento con diferentes tipos de corrientes (altas y bajas).
- Buena resistencia al ciclado (cargue y descargue).

Las baterías más utilizadas en instalaciones solares fotovoltaicas son las de plomo-acido, las cuales poseen las siguientes características: un ciclaje medio, almacenan entre 30 y 50 kW y su precio es bajo.

**4.2.3 Regulador.** Normalmente los paneles solares manejan tensiones mayores que la de la batería, este equipo es el encargado de proteger la batería o el acumulador en situaciones peligrosas, cuando se está cargando lo protege de sobrecargas o corto circuitos y en la descarga garantiza el suministro de energía solicitada y evita la descarga total de la batería, alargando su vida útil. Este equipo siempre estará presente en una instalación fotovoltaica (ISF) (Amazonaws, 2009), ver Figura 10.

Existen diferentes tipos de reguladores:

- Según el tipo de interruptor (Relé electromecánico o de estado sólido).
- Según la estrategia de desconexión del consumo (por tensión, algoritmos de cálculo, algoritmos de gestión de energía).
- Según la posición del interruptor de control (serie o paralelo).

**4.2.4 El inversor.** Es el encargado de convertir la corriente continua en corriente directa o AC, es un elemento indispensable en instalaciones conectadas a la red, también es necesario en instalaciones autónomas para electrificación de viviendas (Americafotovoltaica, 2015).

### **4.3 Dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico**

A continuación, se ilustra las recomendaciones a seguir para el dimensionamiento o diseño de un sistema solar fotovoltaico (Lorenzo, 2019):

- Estos sistemas solares fotovoltaicos tienen una vida útil aproximada de 30 años. Por tal motivo, es indispensable realizar una buena selección de los materiales y componentes a utilizar para garantizar la rentabilidad del proyecto.
- Es importante fijarnos siempre en la curva I-V que proporciona cada fabricante paneles solares en sus hojas técnicas y en la influencia de la temperatura en la corriente y tensión del módulo. El aumento de temperatura hace aumentar ligeramente la corriente y en mayor medida, disminuir la tensión de salida del módulo.
- Para el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico, se debe tener en cuenta la radiación solar promedio de la zona de implementación, el número de horas de funcionamiento, la potencia total requerida, horas pico de radiación solar como de los agentes externos que pueden afectar dicha radiación (viento, pluviosidad, nubosidad, entre otras).
- Estimación del consumo de energía eléctrica a generar requerida, durante esta fase se debe tener en cuenta todos los equipos a alimentar por el sistema y las posibles pérdidas generadas por transmisión.
- Para definir el tamaño necesario de las baterías es necesario tener en cuenta un par de parámetros: Profundidad de descarga máxima, está relacionado con el nivel máximo de descarga que se le permite a la batería antes de la desconexión del regulador el cual está entre el 15-20% diario.

### **4.4 Dispositivos IoT**

Los dispositivos IoT son sistemas electrónicos que permiten controlar y conocer los parámetros de funcionamiento de una instalación en tiempo real, la cual puede ser controlada y manipulada desde que exista conexión a internet (Secmotic, 2020). La incorporación de microprocesadores y

sensores a los objetos más la conexión automática a la red han permitido la recolección y transferencia de datos y la automatización de muchos procesos sin requerir de la interacción de un usuario, que hasta ahora eran manuales, ver Figura 8.



Figura 8. Dispositivos IoT para el control de equipos y sistemas.

Fuente: (Secmotic, 2020).

Las aplicaciones de los dispositivos IoT son muy variadas. A continuación, se muestran algunas de ellas (Secmotic, 2020):

**Smart City:** En este caso, los dispositivos y sensores instalados por toda la ciudad permitirán ofrecer datos e información tan diversa y útil para el ciudadano o el gobierno de la ciudad como la gestión del tráfico, el mantenimiento de parques o iluminación, niveles de ruido, contaminación o criminalidad, entre otras.

**IoT Industrial:** El IoT en este sentido también aporta una visión global y unificada de empresas y/o negocios. Algunos de ellos son: previsión de fallos mediante análisis de datos, gestión de activos en el almacén o trazabilidad con respecto a un pedido llevado a cabo por un cliente.

**Smart Port:** Los puertos inteligentes y conectados también han visto los beneficios del IoT y se han sumado a sus iniciativas. Se está desarrollando la integración entre ciudad y puerto con las miras puestas en aportar valor añadido y mejorar la eficiencia de los procesos logísticos.

**Smart Home:** Por último, como hemos añadido anteriormente, las Smart Home o casas inteligentes están ofreciendo experiencias únicas dentro de nuestras propias casas. Todo gracias a la conexión de los dispositivos IoT.

Ahora, para que esto sea posible se necesita de sensores, los cuales son dispositivos sofisticados que convierten un parámetro físico en una señal que puede ser medida eléctricamente, son a menudo usados para detectar y responder señales eléctricas u ópticas. Son los encargados de monitorear, medir y recolectar datos, es lo que hace que las “Cosas” puedan comunicarse con la red y finalmente lleguen a una Plataforma IoT para ser leídos y/o interpretados (bismark, 2018).

Existen diferentes tipos de sensores:

- Sensor de presión
- Sensores de nivel e inclinación
- Sensor de humedad
- Sensores de carga
- Sensor de temperatura
- Sensores de movimiento
- Sensores de proximidad
- Sensores de flujo
- Sensores ópticos
- Sensores de aceleración y giroscopio
- Sensores de vibración
- Sensores químicos
- Sensores de fuerza, carga, tensión y torsión

También existen diferentes tipos de marcas: Rockwell, Emerson, Endress&Houser, Libelyum, Onrom, Schneider, Suntech, Technoton, entre otras.

Otro de los elementos principales de un dispositivo IoT es el microprocesador o microcontrolador el cual es diseñado para realizar una o algunas pocas funciones dedicadas, frecuentemente en un sistema de computación en tiempo real, ver Figura 9.



Figura 9. Microprocesador o microcontrolador.

Fuente: (Secmotic, 2020).

Los Sistemas Embebidos suelen tener en una de sus partes una computadora con características especiales conocida como microcontrolador que viene a ser el cerebro del sistema. Este no es más que un microprocesador que incluye interfaces de entrada/salida en el mismo chip. Normalmente estos sistemas poseen una interfaz externa para efectuar un monitoreo del estado y hacer un diagnóstico del sistema. Por lo general, estos sistemas se pueden programar directamente en el lenguaje ensamblador del microcontrolador o microprocesador incorporado sobre el mismo, o también, utilizando los compiladores específicos que utilizan lenguajes como C o C++ y en algunos casos, cuando el tiempo de respuesta de la aplicación no es un factor crítico, también pueden usarse lenguajes interpretados como Java y Arduino (Semantic, 2020).

#### 4.5 Estado del arte

En la actualidad la implementación de microprocesadores, sensores y el uso de la conexión automática a la red realizada a los objetos, equipos o máquinas han permitido la recolección y transferencia de datos como la automatización de muchos procesos sin requerir de la interacción del usuario, que hasta el día de hoy eran manuales. A continuación, se ilustran algunos de los proyectos donde la implementación de dispositivos IoT ha sido eficaz:

Una de las aplicaciones más relevantes de estos dispositivos IoT consiste en la seguridad informática. Por ejemplo, el proyecto realizado por los estudiantes: Rene Gahona y Alex Cabezas estudiantes de ingeniería electrónica de la universidad politécnica salesiana de Quito Ecuador, los cuales diseñaron y simularon un sistema de seguridad con accionamiento remoto para la empresa Consel. Ellos utilizaron una red IoT nombrada Aruba HPE la cual enviara señales o alarmas a cada uno de los administrativos o supervisores de los diferentes departamentos de la empresa



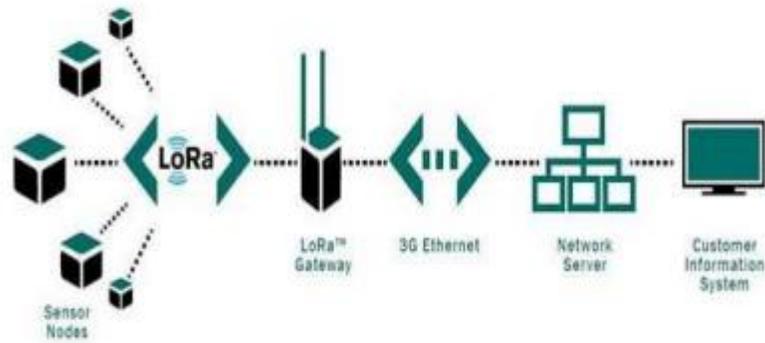


Figura 11. Configuración general de una red usando LORAWAN.  
Fuente: (Moreno & Ordoñez, 2017).

Como conclusión al trabajo realizado se puede afirmar que las tarjetas de desarrollo RASPBERRY PI y PSOC4 son dispositivos que ofrecen una gama casi ilimitada de posibilidades para el desarrollo de aplicaciones de todo tipo, esto debido a su gran poder de procesamiento, su versatilidad, su fácil manejo y a que se pueden adquirir por precios bastante cómodos.

Otras de las aplicaciones están destinada al transporte y la movilidad. Por ejemplo, el proyecto realizado por David Angulo Esguerra estudiante de maestría en telecomunicaciones y regulación TIC de la universidad Santo Tomás de Bogotá Colombia, el cual diseño e implemento un sistema IoT piloto para un cicloparqueadero inteligente. Se presenta el diseño de un sistema IoT de cicloparqueadero inteligente, que facilite la movilidad en bicicleta dentro de la ciudad. El sistema IoT diseñado consta de un sistema de disponibilidad, un sistema de monitoreo ambiental y un sistema de control de acceso. Para lo cual se realizó una prueba piloto para nueve espacios de parqueo en la sede principal de la universidad Santo Tomás de Bogotá, permitiendo la visualización de los espacios de parqueo disponibles como el control de las personas que ingresa a estos, a través de una página web, lo cual impide el hurto de bicicletas y facilita la toma de decisiones a la hora de definir el medio de transporte a utilizar en tiempo real (Esguerra, 2017). A continuación, se puede visualizar el sistema IoT planteado para el transporte y movilidad de las personas al campo estudiantil en bicicleta, ver Figura 12.



Figura 12. Diseño de sistema IoT de cicloparqueadero inteligente.  
Fuente: (Esguerra, 2017).

Por último, se encuentra el proyecto realizado por José Ignacio Molano estudiante de doctorado de la universidad de Oviedo España, el cual diseño y construyo un software bajo el esquema de la Ingeniería Dirigida por Modelos (MDE), con la cual se propone la creación de aplicaciones que permitan interconectar objetos heterogéneos y dar respuestas a la comunicación creada, siendo estas la base en la generación de un Metamodelo que integre los elementos requeridos (sensores, Cloud y Web 2.0) para el avance de la IoT (Molano, 2017).

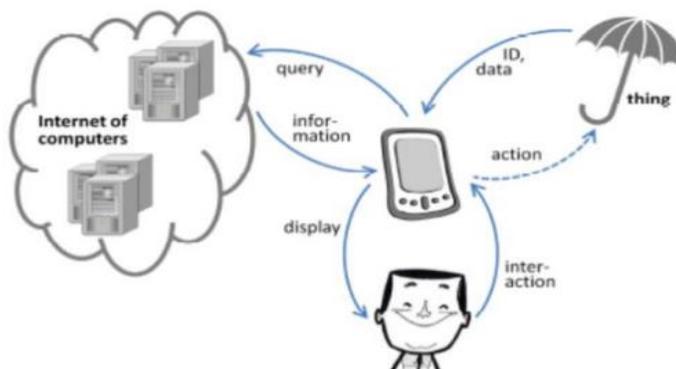


Figura 13. Esquema de pensamiento que tiene el autor sobre la implementación de sistema IoT.  
Fuente: (Molano, 2017).

## 5. METODOLOGÍA

La metodología empleada está compuesta por 7 actividades: La primera actividad consistió en la realización de una búsqueda bibliográfica en las bases de datos disponibles en la institución universitaria Pascual Bravo, como en repositorios de tesis y sitios web (Google académico) sobre todo lo relacionado con sistemas solares fotovoltaicos y dispositivos IoT, además, de los elementos que los componen con el propósito de establecer las bases teóricas del proyecto.

Posteriormente, se organizó la información encontrada durante la búsqueda bibliográfica realizada, la cual fue descrita de forma detallada en el marco teórico y tomada como punto de partida para la identificación de los componentes del dispositivo IoT a diseñar.

La tercera actividad consistió en la identificación de los componentes que forman parte del sistema IoT, por ejemplo: sensor de voltaje, de luz, ambiental, microprocesador y lenguaje de programación a utilizar, los cuales permiten la toma de datos en tiempo real durante el funcionamiento del sistema solar fotovoltaico. Luego de la identificación de los componentes, se realizó la compra de estos teniendo en cuenta parámetros como: costo, rango mínimo y máximo de funcionamiento, exactitud y disponibilidad de compra.

La quinta actividad consistió en la construcción o ensamble de los componentes adquiridos, para lo cual se utilizó cable Qwiic, conectores, diodos de alta luminosidad y soldadura blanda (cautín, estaño y alambre de aluminio). Luego se realizó el programa de control del dispositivo IoT utilizando Arduino por su fácil programación, el cual permite medir las variables que afectan la generación de energía eléctrica en los sistemas solares fotovoltaicos para su correspondiente análisis.

La séptima actividad consistió en la realización de pruebas bajo diferentes condiciones de operación del sistema solar fotovoltaico, lo cual permitió cuantificar la energía eléctrica generada en determinado tiempo, lugar y ambiente, facilitando la toma de decisiones que contribuyan con la optimización de la energía eléctrica generada por sistemas solares fotovoltaicos.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Variables de interés identificadas

Durante la búsqueda bibliográfica realizada se identificaron las variables que podrían afectar la generación de energía eléctrica mediante el uso de sistemas solares fotovoltaicos. A continuación, se enumeran algunas de estas: humedad, temperatura del ambiente, material particulado, nubosidad, radiación solar, entre otras. Por tal motivo, se requiere de sensores para evaluar dichas variables.

### 6.2 Selección de los componentes

Para la selección de los componentes, se tomó en cuenta parámetros como: costo, rango de trabajo del sistema (voltaje y corriente), disponibilidad en el mercado y software de programación a utilizar, envase a estos parámetros los elementos seleccionados son los siguientes:

**6.2.1 Sensor ambiental:** Permite la recolección de información sobre la contaminación atmosférica y las condiciones ambientales. El dispositivo mide las partículas suspendidas en el aire con diámetros iguales o inferiores a  $1\ \mu\text{m}$ ,  $2,5\ \mu\text{m}$  y  $10\ \mu\text{m}$  (PM1, PM2,5 y PM10). Además, incorpora un sensor capaz de registrar las condiciones ambientales como la humedad y la temperatura del aire (Iotsens, 2021), ver Figura 14.

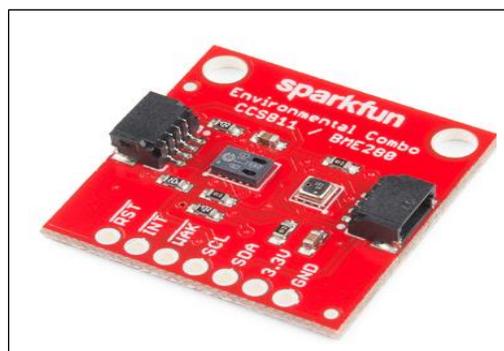


Figura 14. Sensor ambiental medidor de Humedad, temperatura y material particulado.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 1, se pueden visualizar todas sus características como los posibles proveedores del elemento.

Tabla 1. Características del sensor ambiental seleccionado.

Ítem	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	CATEGORÍA	PROVEEDORES
1	Modulo para CCS811/BME280	<p>Conector Qwiic activado</p> <p>Voltaje de operación: 3.3V</p> <p>Detección total de compuestos orgánicos volátiles (COVT) de 0 a 1.187 partes por mil millones eCO2 detectando de 400 a 8,192 partes por millón</p> <p>Rango de temperatura: -40C a 85C</p> <p>Rango de humedad: 0--100% HR, =- 3% de 20--80%.</p> <p>Rango de presión: 30.000Pa a 110.000Pa, precisión relativa de 12Pa, precisión absoluta de 100Pa</p> <p>Rango de altitud: 0 a 30.000 pies (9,2 km), precisión relativa de 3,3 pies (1 m) al nivel del mar, 6,6 (2 m) a 30.000 pies</p>	Insumos y equipos eléctricos y electrónicos	Vistronica/ Didácticas Electrónicas I+D/Suconel

Traducción realizada con el traductor  
www.DeepL.com/Translator

Fuente: Elaboración propia.

Otra de estas variables es la luminosidad porque de esta depende la cantidad de energía generada por el sistema solar fotovoltaico que durante los días lluviosos o nublados se reduce.

**6.2.2 Sensor de luz.** Es un dispositivo electrónico que responde al cambio en la intensidad de la luz, permite censar la presencia de luz. Los sensores de luz detectan la luz visible (La que el ser humano puede percibir) y tiene una respuesta de acuerdo con la intensidad, son utilizados para medir el nivel de iluminación (MecatronicaLatam, 2021), ver Figura 15.

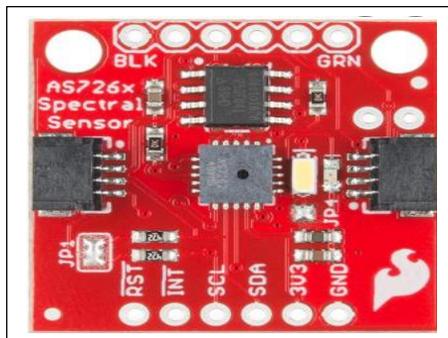


Figura 15. Modulo Sensor De Luz Iluminación Fotorresistencia Arduino  
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2, se pueden visualizar todas sus características como los posibles proveedores del elemento.

Tabla 2. Características del sensor de espectro visible seleccionado.

Ítem	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	CATEGORIA	PROVEEDORES
1	Modulo del sensor de espectro visible AS7262	6 canales visibles: 450nm, 500nm, 550nm, 570nm, 600nm y 650nm, cada uno con 40nm FWHM Conjunto de filtros visibles realizados con filtros de interferencia de silicio ADC de 16 bits con acceso digital Controladores LED programables 2,7V a 3,6V con interfaz I2C 2x conectores Qwiic	Insumos y equipos eléctricos y electrónicos	Vistronica/ Didácticas Electrónicas I+D/Suconel
2	Modulo para sensor de sensor espectral de infrarrojo cercano (NIR) AS7263 Qwiic	6 canales Infrarrojo cercano: 610nm, 680nm, 730nm, 760nm, 810nm y 860nm, cada uno con 20nm FWHM Conjunto de filtros NIR realizados con filtros de interferencia de silicio ADC de 16 bits con acceso digital Controladores LED programables 2,7V a 3,6V con interfaz I2C 2x conectores Qwiic	Insumos y equipos eléctricos y electrónicos	Vistronica/ Didácticas Electrónicas I+D/Suconel

Fuente: Elaboración propia.

Las variaciones que puede presentar el sistema se ven reflejadas en fluctuaciones o variaciones en el voltaje. Por tal motivo, se necesita de un sensor de voltaje para medir estas variaciones.

**6.2.3 Sensor de voltaje.** Los sensores Voltaje, son ideales para situaciones en las que la calidad de energía es un problema, facilitan el seguimiento de los niveles de voltaje de alimentación. Identifican problemas de sub-voltaje o sobre voltaje, y ayudan a proteger los motores y la electrónica de importancia crítica (UNIT, 2022).

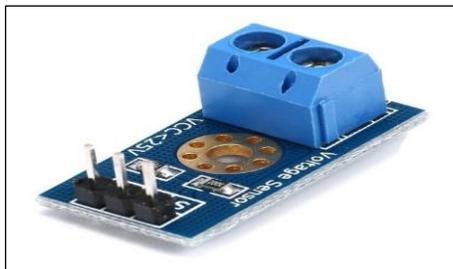


Figura 16. Módulo Sensor de Voltaje 0 ~ 25V DC

Fuente: Elaboración propia.

Para identificar las variaciones de voltaje generadas por fuera de un rango de programación se necesita de un diodo led. En la Tabla 3, se pueden visualizar todas sus características como los posibles proveedores del elemento.

Tabla 3. características del sensor de voltaje seleccionado.

Ítem	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	CATEGORIA	PROVEDORES
3	Módulo Sensor de Voltaje 0 ~ 25V DC	Rango de entrada de voltaje VCC: DC 0-25V Rango de detección de voltaje VCC: DC 0.02445V – 25V Resolución analógica de voltaje: 0.00489 V Voltaje detección entrada máximo: 25V (5V x 5 = 25V) o 16.5v (3.3V x 5 = 16.5V) Tipo de salida: Analógica Con orificio de sujeción Tiene un conector block de dos tornillos para medir tensión Polaridad marcada en módulo Compatible con Arduino, PICs y otros. Aplicaciones: Medición de voltaje	Insumos y equipos eléctricos y electrónicos	Vistronica/ Didácticas Electrónicas I+D/Suconel

Fuente: Elaboración propia.

**6.2.4 Diodo led de alta luminosidad.** El diodo emisor de luz o LED, es una fuente de luz que emite fotones cuando se recibe una corriente eléctrica de muy baja intensidad, esta intensidad de la luz se relaciona con la cantidad de corriente que fluye a través del dispositivo, así también una relación en la longitud de onda que corresponde a cada color (MecatronicaLatam, 2021), ver Figura 17.



Figura 17. Diodos led de alta luminosidad.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4, se pueden visualizar todas sus características como los posibles proveedores del elemento.

Tabla 4. características del diodo de alta luminosidad seleccionado.

Ítem	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	CATEGORIA	PROVEDORES
4	Led 1 W Blanco Puro Disipador 3.2-3.4vdc 6500k 120° X100pcs	Disipador de calor: Si Potencia: 1W (vatio) Voltaje de funcionamiento: 3.2 – 3.4 VDC Consumo de corriente: 300-350mA Temperatura de color: 6.500k Flujo luminoso: 120 lumen Ángulo de visión: 120 a 140 grados Vida útil: 50.000 horas)	Insumos y equipos eléctricos y electrónicos	Vistronica/ Didácticas Electrónicas I+D/Suconel

Fuente: Elaboración propia.

Por último, para el control del sistema se necesita de un microprocesador o electrónica embebida, dispositivo encargado de recibir las señales de los sensores, procesarlas y enviar una corrección o señal de salida a los actuadores del sistema IoT.

**6.2.5 Microprocesador.** Es un sistema de computación basado en un microprocesador o un microcontrolador diseñado para realizar una o algunas pocas tareas en tiempo real, este va a ser el encargado de recibir las señales de los sensores seleccionados, procesarlas y enviar una señal de respuesta a los componentes del sistema, ver Figura 18 y 19.

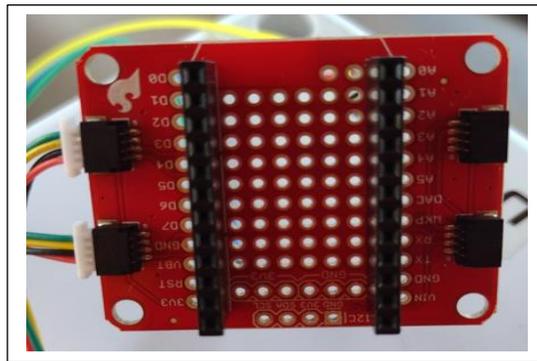


Figura 18. Tarjeta de montaje del microprocesador vista frontal y trasera.  
Fuente: Elaboración propia.

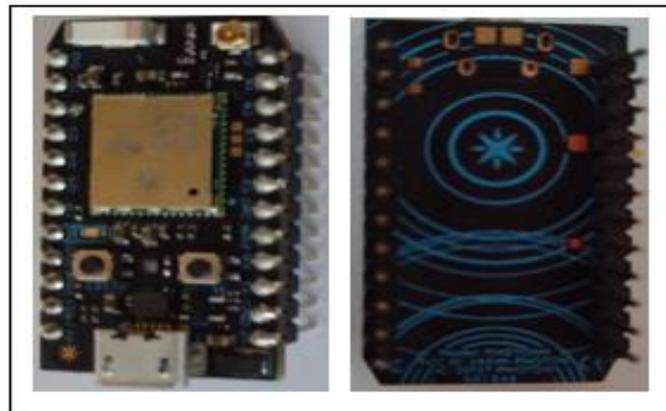


Figura 19. Microprocesador vista frontal y trasera.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5, se pueden visualizar todas sus características como los posibles proveedores del elemento.

Tabla 5. Características del microprocesador seleccionado.

Ítem	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	CATEGORIA	PROVEDORES
5	Tarjeta de desarrollo IoT Particle Photon	Particle PØ Wi-Fi module Broadcom BCM43362 Wi-Fi chip 802.11b/g/n Wi-Fi STM32F205 120Mhz ARM Cortex M3 1MB flash, 128KB RAM On-board RGB status LED (ext. drive provided) 18 Mixed-signal GPIO and advanced peripherals Open-source design Real-time operating system (FreeRTOS) Soft AP setup FCC, CE and IC certified Pre-Soldered Headers	Insumos y equipos eléctricos y electrónicos	Vistronica/ Didácticas Electrónicas I+D/Suconel

Fuente: Elaboración propia.

**6.2.6 Cables de conexión.** Los conectores eléctricos sirven para hacer conexiones entre cables eléctricos, o entre cables eléctricos y algún elemento del circuito, ver Figura 20.

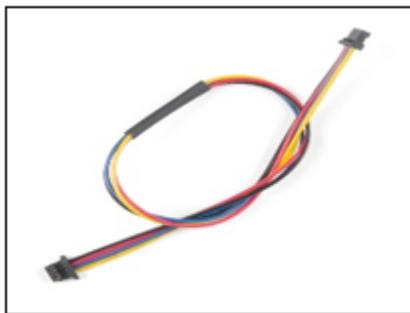


Figura 20. Cables de conexión Qwiic.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6, se pueden visualizar todas sus características como los posibles proveedores del elemento.

Tabla 6. Características de los cables Qwiic seleccionados.

Ítem	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	CATEGORIA	PROVEDORES
6	Cable Qwiic 50mm	Cable tipo Qwiic. Dimensions: 50mm (1.96") Length	Insumos y equipos eléctricos y electrónicos	Vistronica/ Didácticas Electrónicas I+D/Suconel
	Cable Qwiic 200mm	Cable tipo Qwiic. Dimensions: 200mm (7.87") Length		

Fuente: Elaboración propia.

**6.2.7 Cargador de batería.** Este elemento puede ser conectado con una batería de 3,7 V a 1000mAh por 400 ciclos. El cable de conexión no debe ser demasiado grueso, además se debe asegurar que el punto de conexión sea bueno para proteger que los chips se quemen, ver Figura 21.

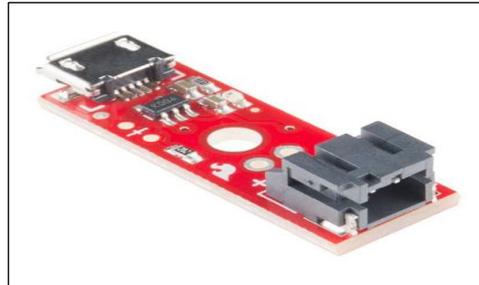


Figura 21. Cargador de batería SparkFun.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 7, se pueden visualizar todas sus características como los posibles proveedores del elemento.

Tabla 7. Características del cargador USB seleccionado.

Ítem	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	CATEGORIA	PROVEDORES
7	Cargador LiPO básico Micro USB SparkFun	Dimensiones: 50mm 29.4x10.8mm Chipset TP4056 Interfaz Mini USB Carga lineal 1% Voltaje de entrada 4.5V/5.5V Voltaje de carga completa 4.2V Corriente máxima 1A Precisión +- 1.5% Temperatura de operación -10°C~+85°C	Insumos y equipos eléctricos y electrónicos	Vistronica/ Didácticas Electrónicas I+D/Suconel

Fuente: Elaboración propia.

**6.2.8 Batería.** Estas baterías son ampliamente utilizadas en dispositivos electrónico, alta durabilidad y economía, ver Figura 22.

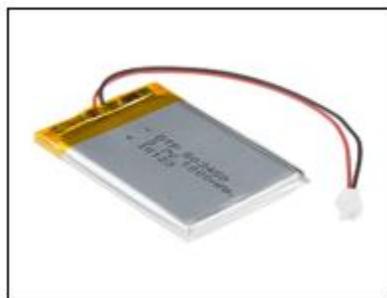


Figura 22. Batería de Baterías Ion Litio 1Ah.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 8, se pueden visualizar todas sus características como los posibles proveedores del elemento.

Tabla 8. Características de la batería seleccionada.

Ítem	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	CATEGORIA	PROVEDORES
8	Baterías Ion Litio 1Ah	Celdas:1 Voltaje: 3.7 V Corriente Nominal: 1000mAh Excelentes tasas de autodescarga a largo plazo (<8% por mes) Fuente de alimentación robusta bajo condiciones extremas (-25 a 60C) 2,00 x 1,32 x 0,23 pulgadas (50,8 x 33,5 x 5,9 mm) Conector Carga: JST-2.54 mm Peso: 22g	Insumos y equipos eléctricos y electrónicos	Vistronica/ Didácticas Electrónicas I+D/Suconel

Fuente: Elaboración propia.

**6.2.9 Caja de termoplástica de empalme.** Es una caja de material aislante que aloja en su interior los elementos de protección de las líneas generales de alimentación de una instalación eléctrica, ver Figura 23.



Figura 23. Caja termoplástica de empalme marca Binson seleccionada.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 9, se pueden visualizar todas sus características como los posibles proveedores del elemento.

Tabla 9. Características de la caja termoplástica de empalme seleccionada.

Ítem	COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	CATEGORIA	PROVEDORES
9	caja térmica de referencia IP65 marca Binson	Dimensiones 300 x 250 x 120 mm	Insumos y equipos eléctricos y electrónicos	Vistronica/ Didácticas Electrónicas I+D/Suconel

Fuente: Elaboración propia.

### 6.3 Ensamble del dispositivo IoT.

Para el ensamble del dispositivo IoT, se siguió la siguiente metodología se empezó a organizar el sistema de adentro hacia a fuera, lo cual permitía identificar la longitud exacta de los cables requerida para la conexión de cada uno de los componentes.

**6.3.1 Instalación de los componentes dentro de la caja termoplástica de empalme.** La caja termoplástica de empalme seleccionada es referencia IP65 de dimensiones 300x250x120 mm de marca Binson, esta fue seleccionada por su hermeticidad y no permite que el agua entre y dañe los componentes o sensores. Esta también permite remover algunos tapones que posee por las partes laterales permitiendo la entrada de aire para refrigerar los componentes electrónicos si es necesario, ver Figura 24.

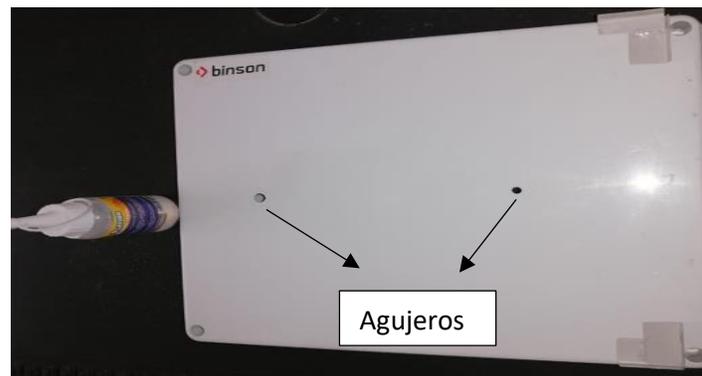


Figura 24. Caja termoplástica de empalme y silicona líquida utilizada.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 24, se pudo apreciar dos agujeros realizados en la parte superior para los cables que conectan la celda solar y el sistema IoT. Por uno de estos agujeros van a pasar los cables de color amarillo utilizados para transportar la corriente que genera el panel solar y el otro será utilizado para un cable tipo Qwiic que conecta el sensor de luz. También se compró e instalaron perfiles plásticos para Driwall, los cuales fueron recortados en láminas de 5 cm para utilizarse como base del panel solar y darle la inclinación requerida de  $10^{\circ}$ .

Luego se realizó la distribución de los componentes, los cuales serán ubicados de tal forma que se permita su manipulación si es necesario. Estos serán unidos a la caja utilizando silicona líquida, ver Figura 25.



Figura 25. Sensor de Voltaje instalado y pegado con silicona liquida.  
Fuente: Elaboración propia.

Realizando esta actividad se presentó el primer inconveniente los componentes se movían muy fácilmente lo que podía ocasionar fallas durante el funcionamiento del sistema IoT. Para darle mayor estabilidad a los componentes y evitar fallas en el sistema debido a malas conexiones, se compraron tornillos plásticos los cuales fueron unidos a cada componente por medio de silicona y estos a su vez unidos a la caja proporcionándole estabilidad a cada componente, ver Figura 26 y 27.

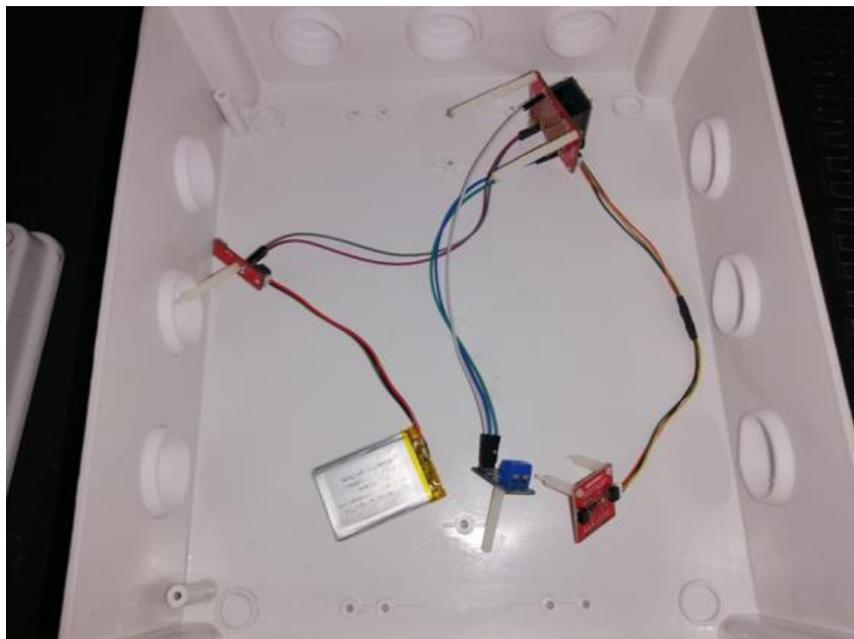


Figura 26. Componentes con tornillos plásticos para dar estabilidad.  
Fuente: Elaboración propia.

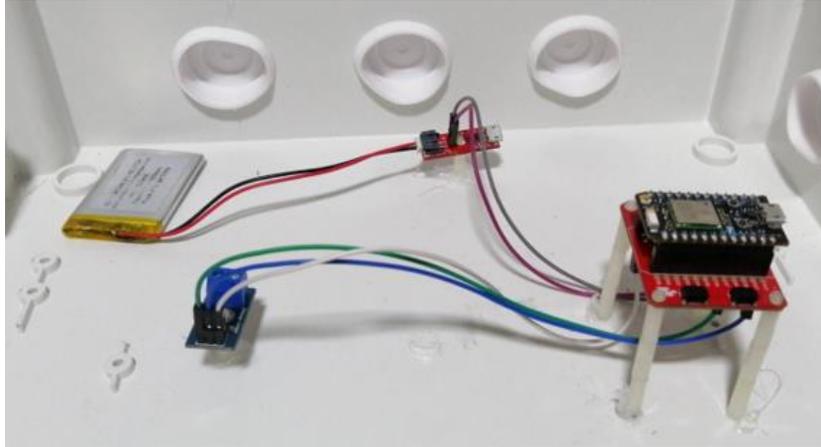


Figura 27. Vista general de los componentes ubicados internos conectados.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 27, se puede visualizar la conexión interna del sensor de voltaje al microprocesador, de la siguiente manera:

- Punto de conexión negativa del sensor, al punto GND del microprocesador.
- Punto de conexión positiva del sensor, al punto 3V3 del microprocesador.
- Punto S del sensor, al A0 del microprocesador.

Ahora para la conexión del panel solar al sensor de voltaje se utilizó cable #12 de color amarillo, su conexión fue la siguiente:

- Punto negativo del panel al punto negativo del sensor de voltaje
- Punto positivo del panel al punto positivo del sensor de voltaje, ver Figura 28.

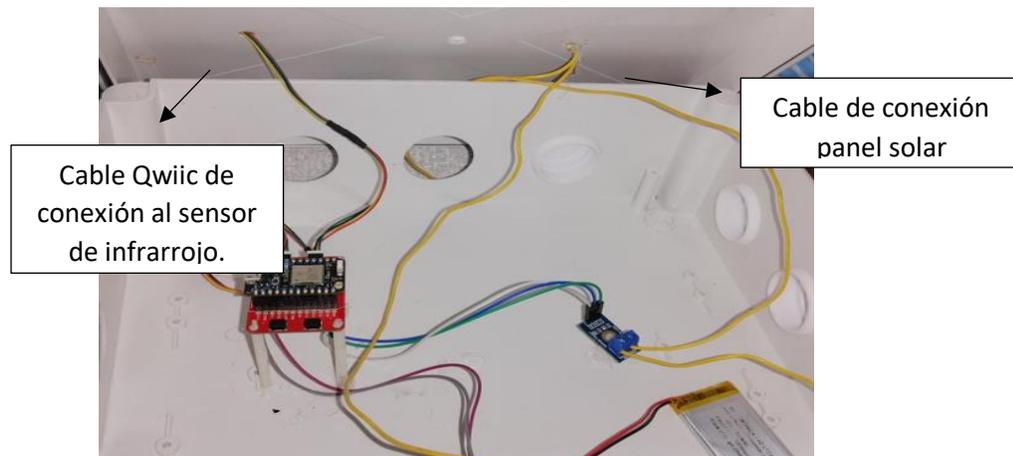


Figura 28. Conexión del panel solar al sensor de voltaje.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 28, se visualizan los dispositivos o componentes y sus conexiones, estos fueron fijados por tornillos y silicona plástica, el sensor ambiental fue instalado al lado de uno de los orificios con tapón que posee la caja para que coja el aire ambiente, todos los componentes fueron pegados a un 1 centímetro de altura, menos el dispositivo IoT que está a 5 cm de altura debido a la conexión que posee por la parte de abajo con la batería.

Posteriormente, se instalará o ubicará el sensor de espectro visible el cual debe ir ubicado en la parte exterior del dispositivo. Para esto, se utilizará una pieza en plástico que permite fijarlo, pero o impide que la luz llegue a él, ver Figura 29.



Figura 29. Instalación de sensor de espectro visible.  
Fuente: Elaboración propia.

Por último, se soldaron los cables número 12 de color amarillo con cautín y estaño al panel solar, los cuales a su vez están unidos al sensor de voltaje como se ve en la Figura 30.

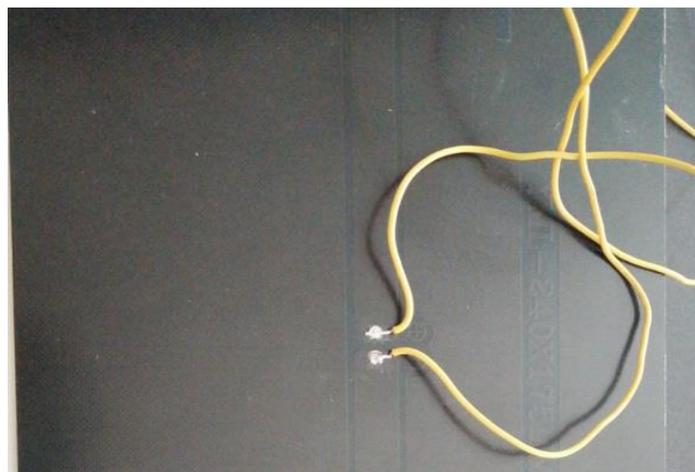


Figura 30. Cables número 12 soldados al panel solar.  
Fuente: Elaboración propia.

También se compró un vidrio de 8 centímetros de largo x 2.5 centímetros de ancho y 1 milímetro de espesor, este vidrio nos va a proteger el sensor por si llueve, evitando que le caiga agua y pueda dañarse el dispositivo, ver Figura 31.

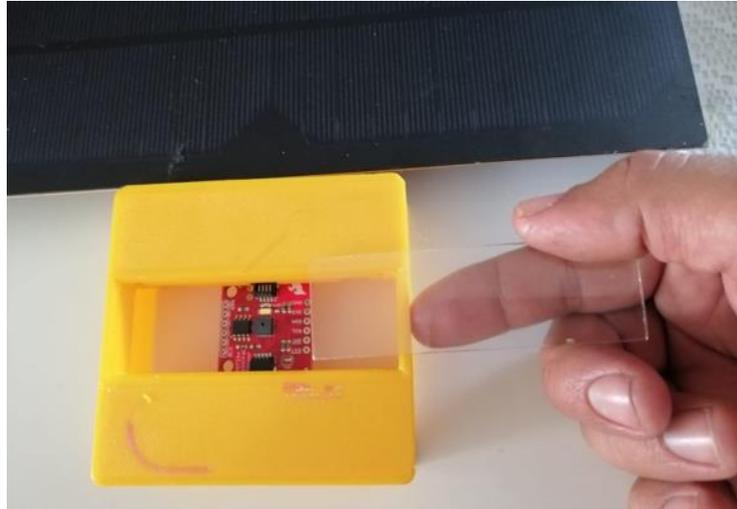


Figura 31. Vidrio de protección instalado para el sensor de espectro visible.  
Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente Figura 32, se puede visualizar el dispositivo IoT terminado y listo para realizar las pruebas de funcionamiento.



Figura 32. Dispositivo IoT construido.  
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se ilustra los planos electrónicos del dispositivo creado y con el cual se piensa evaluar las variables que afectan la generación de energía en sistemas solares fotovoltaicos, ver Figura 33.

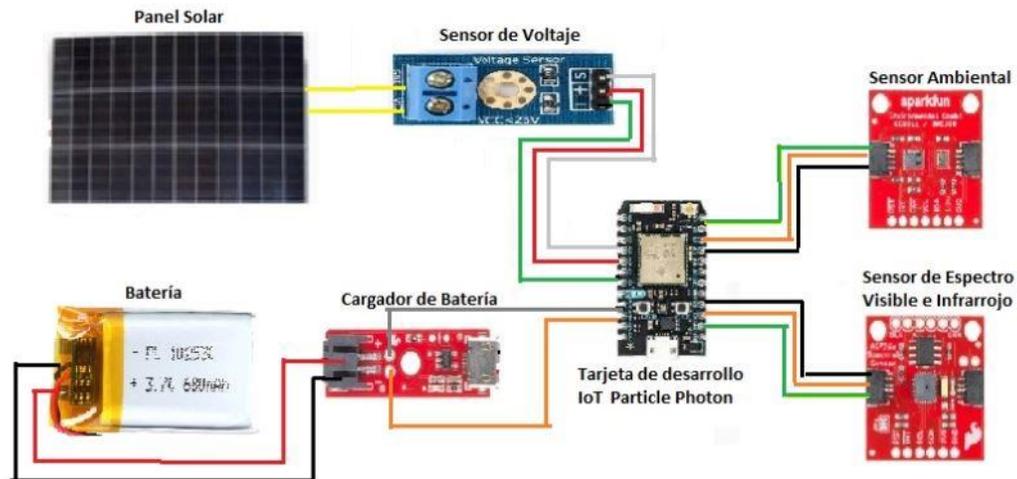


Figura 33. Conexión del dispositivo IoT creado.  
Fuente: Elaboración propia.

## 6.4 Estrategia de captura de datos

**6.4.1 Ambiente interno.** Para el entorno controlado se simuló la radiación solar emitida por el sol con un bombillo marca Astro de 9 vatios(W), el cual trabaja AC 110 o 130 V, 60 Hz, 6400k y 50LM/W. Este fue ubicado a 50 cm de altura del dispositivo IoT y con ventilación natural.



Figura 34. Simulación de ambiente interno.  
Fuente: Elaboración propia.

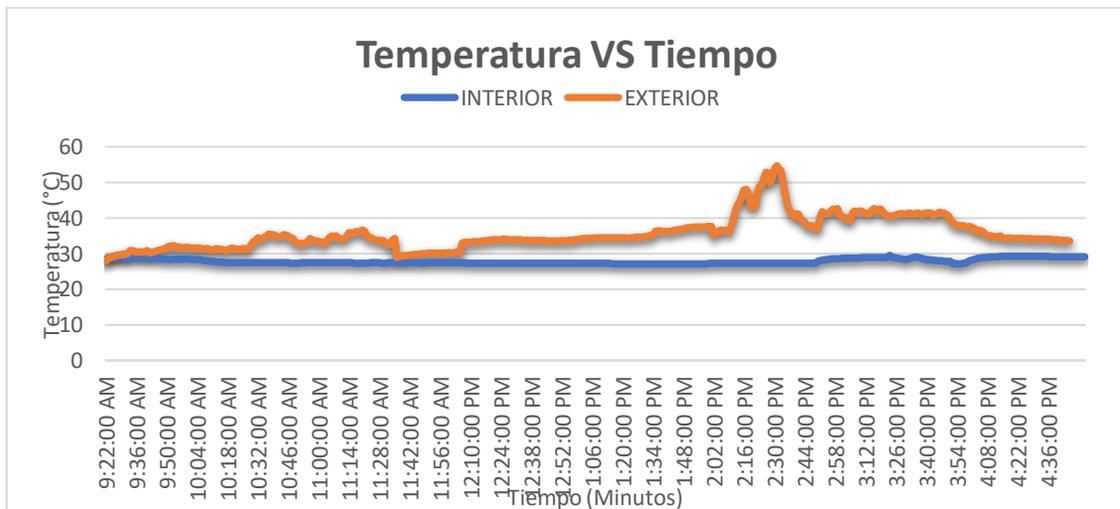
**6.4.1 Ambiente externo.** Para las pruebas realizadas en el ambiente real, el dispositivo se expuso a la radiación solar emitida durante las 9 am a 1 pm, a temperatura ambiente 22 °C y presión atmosférica de 1026 mbar, ver Figura 35.



Figura 35. Prueba realizada en ambiente externo.  
Fuente: Elaboración propia.

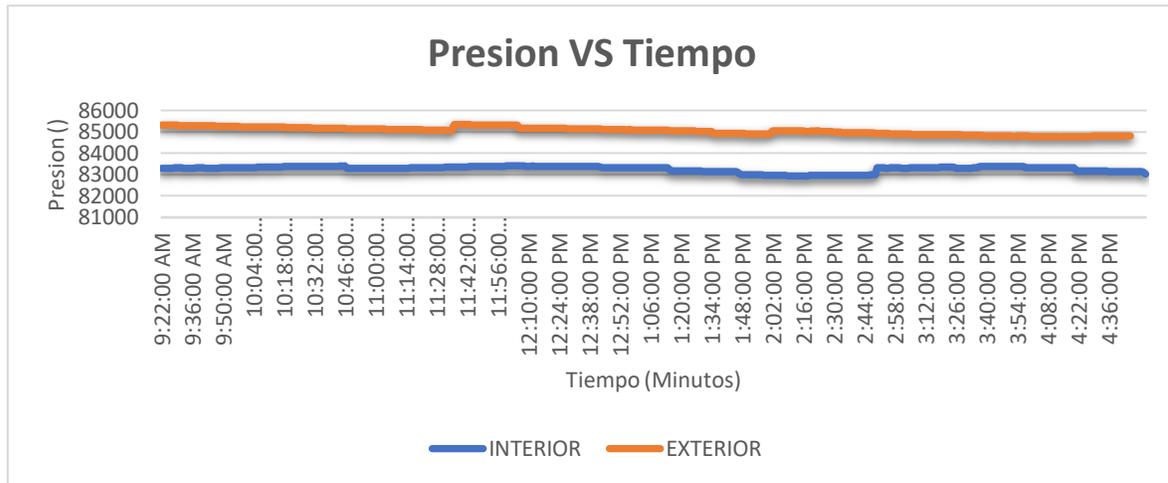
## 6.5 Resultados de las pruebas

A continuación, se pueden visualizar los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas en los dos tipos de ambiente evaluados: controlado y real como la variación presente entre estas dos.



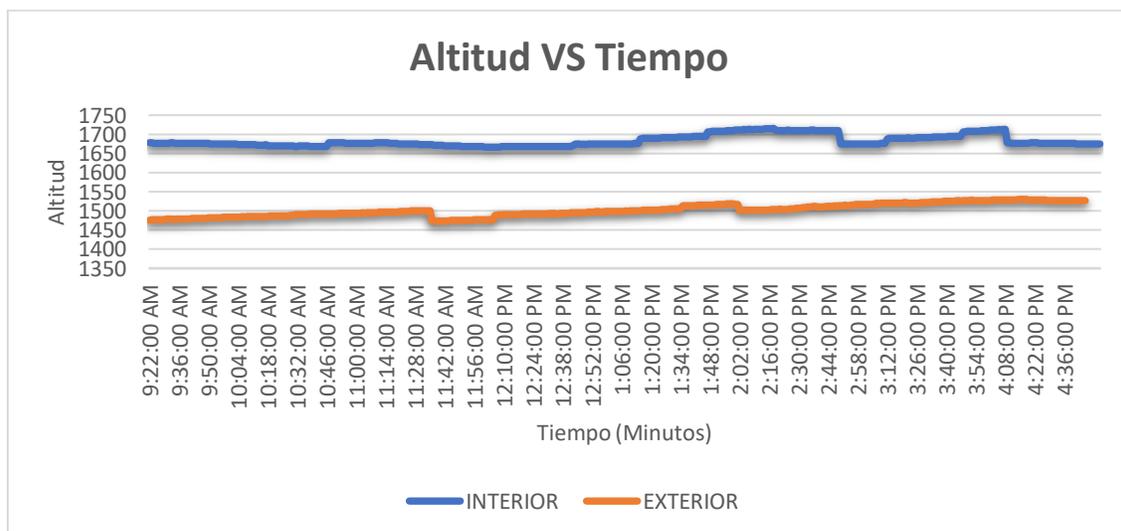
Gráfica 1. Temperatura vs Tiempo en los dos tipos de ambientes.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Gráfica 1, se puede apreciar que durante la prueba realizada en el ambiente interno la temperatura permanece constante debido a las características de la prueba, mientras que en la prueba realizada en el ambiente externo se pueden visualizar pequeñas variaciones o perturbaciones debidas a las variaciones del clima (nubosidad).



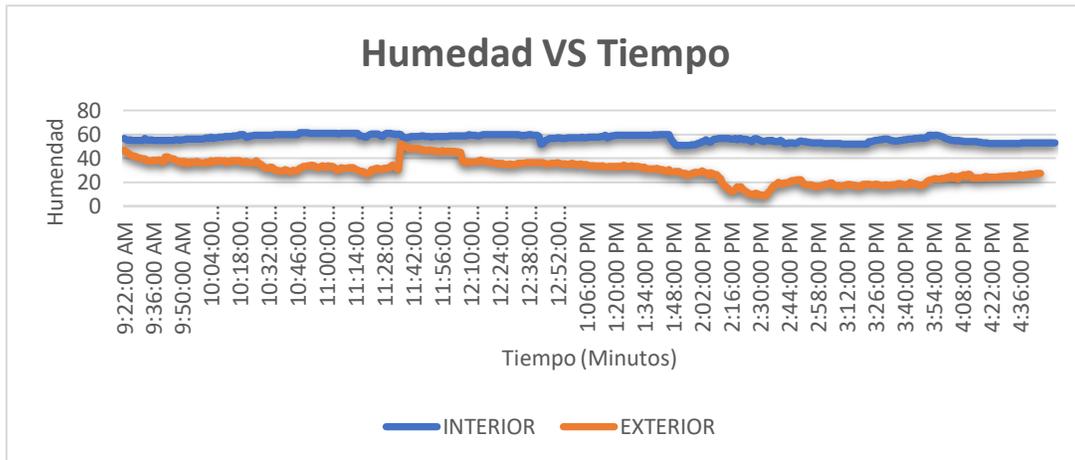
Gráfica 2. Presión vs tiempo en los dos tipos de ambientes.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Gráfica 2, Se puede visualizar que existe poca variación en los resultados obtenidos en las dos pruebas porque las condiciones del viento en cada uno de los espacios no presentan variaciones significativas o prolongadas haciendo que la presión atmosférica se mantenga constante.



Gráfica 3. Altitud vs Tiempo en los dos tipos de ambientes.  
Fuente: Elaboración propia.

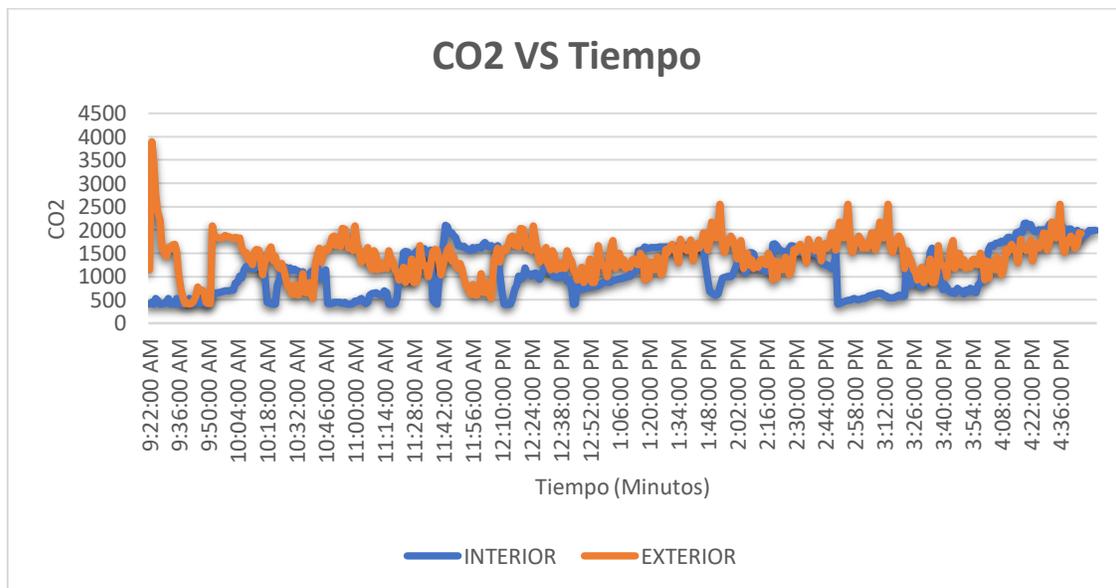
En la Gráfica 3, se puede apreciar la óptima sensibilidad de los sensores, debido a que estas pruebas fueron realizadas en barrios diferentes de la ciudad, la muestra del ambiente interno fue realizada en el barrio Manrique Oriental y la muestra en ambiente exterior se realizó en el barrio Campo Valdez; para identificar las variaciones que se podían presentar con respecto a la altitud.



Gráfica 4. Humedad vs Tiempo en los dos ambientes.

Fuente: Elaboración propia.

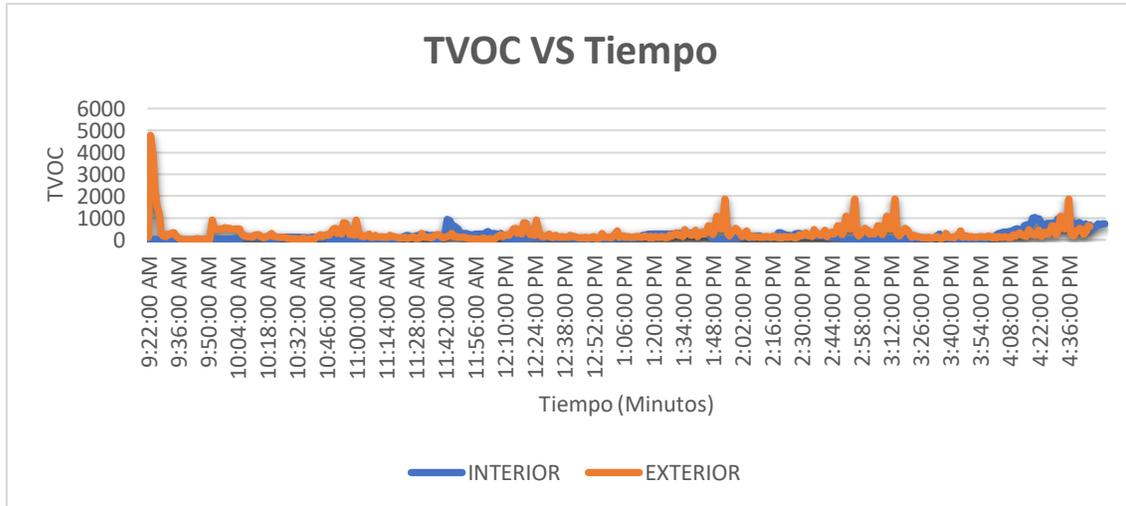
En la Gráfica 4, se ilustra la poca variación de la muestra obtenida en ambiente interno por la falta de circulación de aire en el lugar de la muestra. Lo contrario ocurre en el ambiente exterior donde el flujo de aire es mayor precisamente por su exposición.



Gráfica 5. CO<sub>2</sub> vs Tiempo en los dos ambientes.

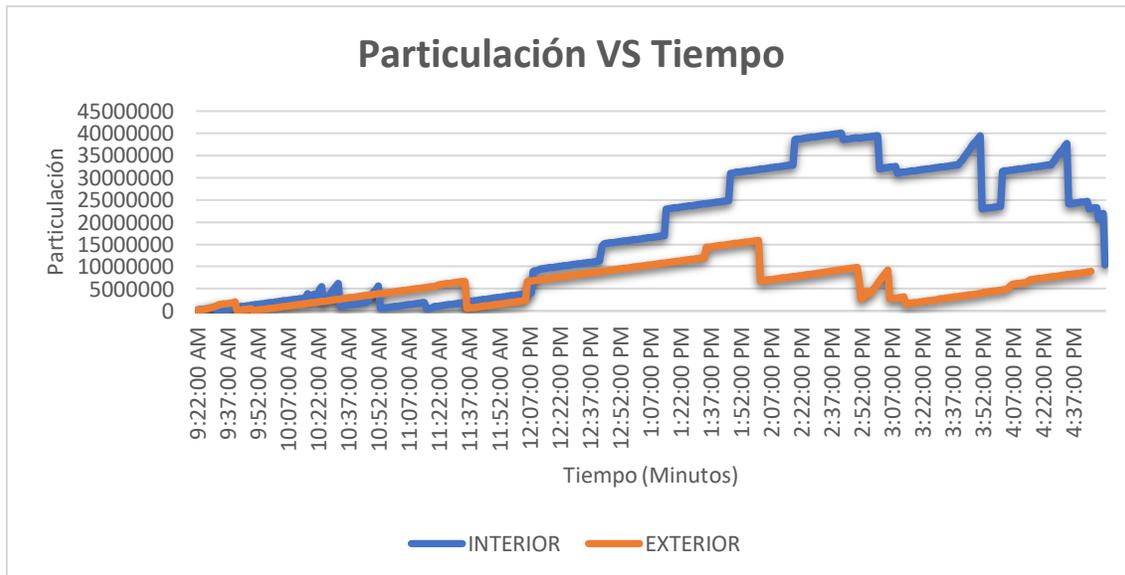
Fuente: Elaboración propia.

En la Gráfica 5, se proyecta variación existente en ambos ambientes debido a la concentración de CO<sub>2</sub> por estar expuestos a la contaminación exterior e interior de los lugares escogidos para la toma de muestras.



Gráfica 6. TVOC vs Tiempo en los dos ambientes.  
Fuente: Elaboración propia.

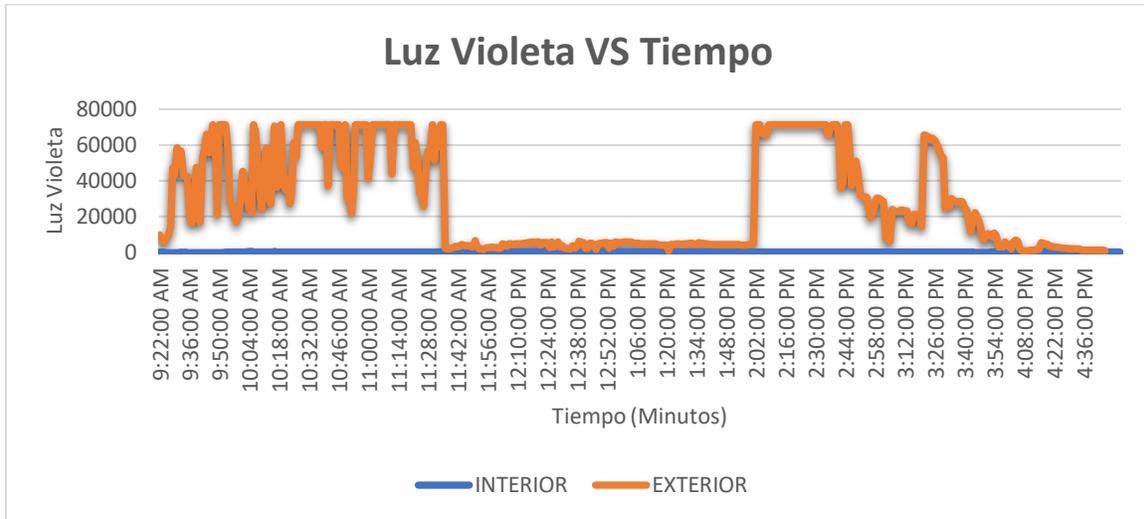
En la Gráfica 6, se observa una variación más pronunciada en ambiente exterior, porque las condiciones de este facilitan que el voltaje se vea afectado por situaciones externas a las cuales se ve expuesto.



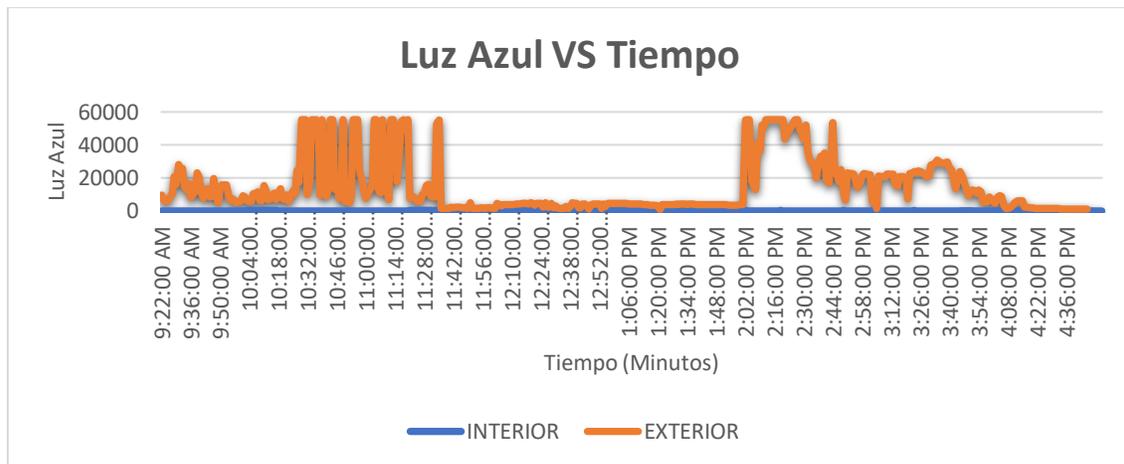
Gráfica 7. Material particulado vs Tiempo en los dos ambientes.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Grafica 7, se puede observar que el material particulado presente en el ambiente afectada las condiciones de funcionamiento o generación del dispositivo IoT, ya que en el ambiente interior hubo acumulación de partículas en el dispositivo sin flujo de aire que las retirara durante un prolongado tiempo.

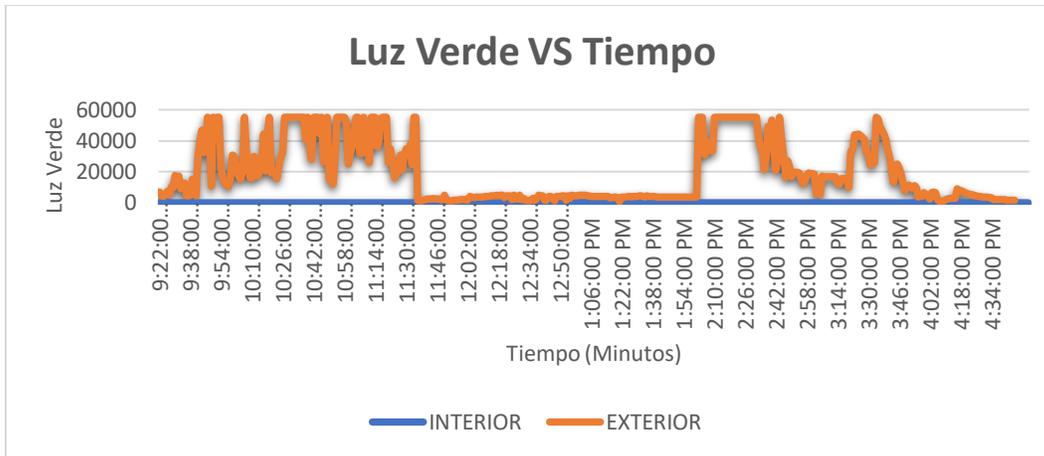
A continuación, se pueden visualizar los efectos causados en el sistema según el color de luz percibida:



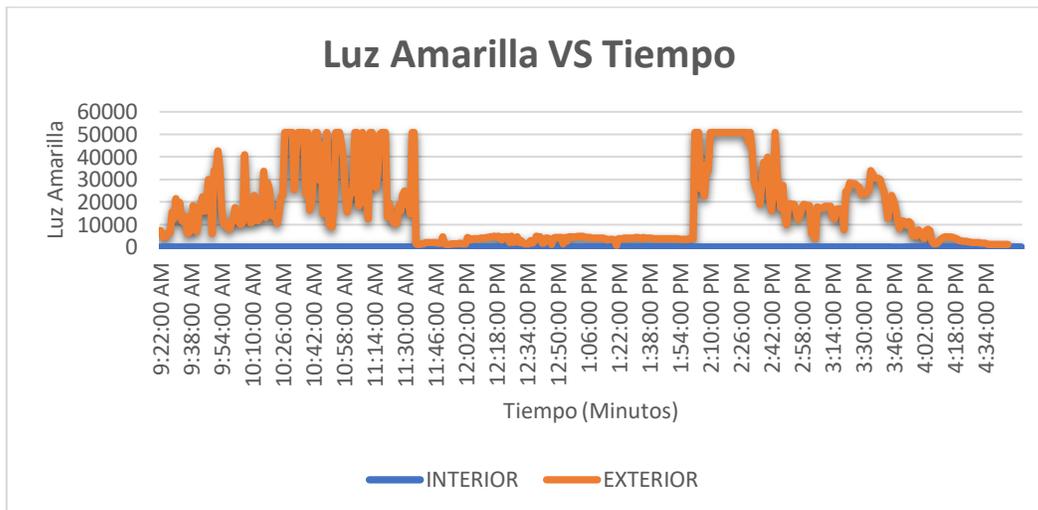
Gráfica 8. Luz violeta vs Tiempo en las dos pruebas.  
Fuente: Elaboración propia.



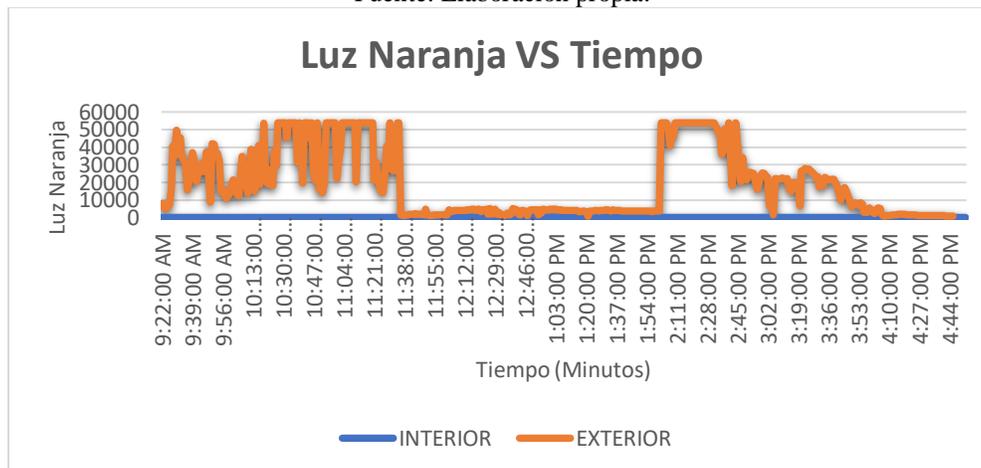
Gráfica 9. Luz azul vs Tiempo en las dos pruebas.  
Fuente: Elaboración propia.



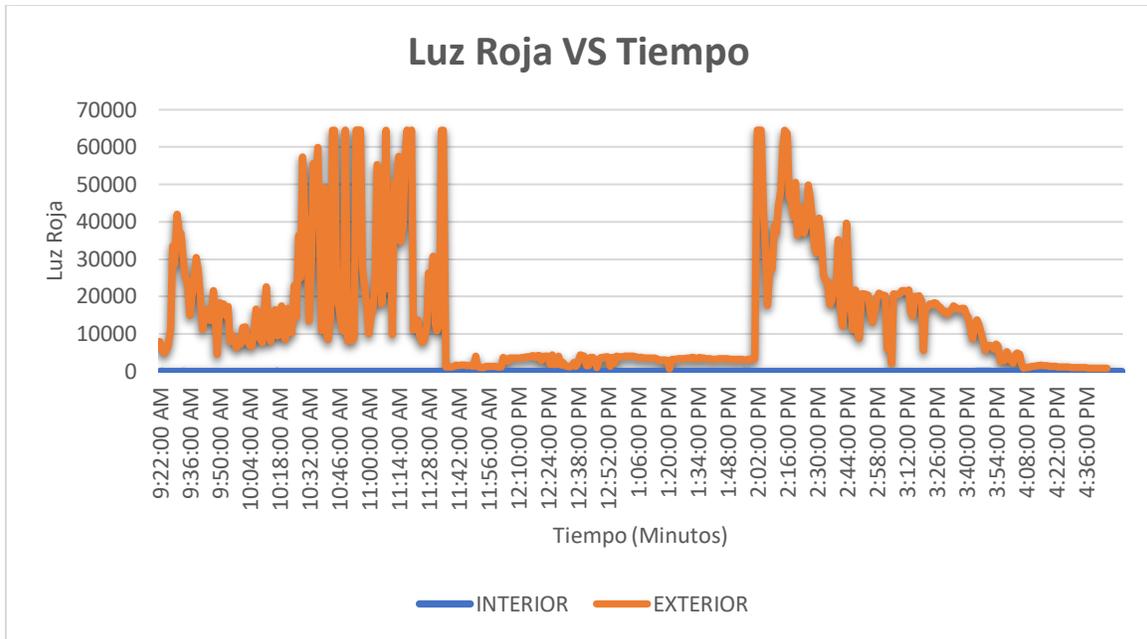
Gráfica 10. Luz verde vs Tiempo en los dos ambientes.  
Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 11. Luz amarilla vs Tiempo.  
Fuente: Elaboración propia.

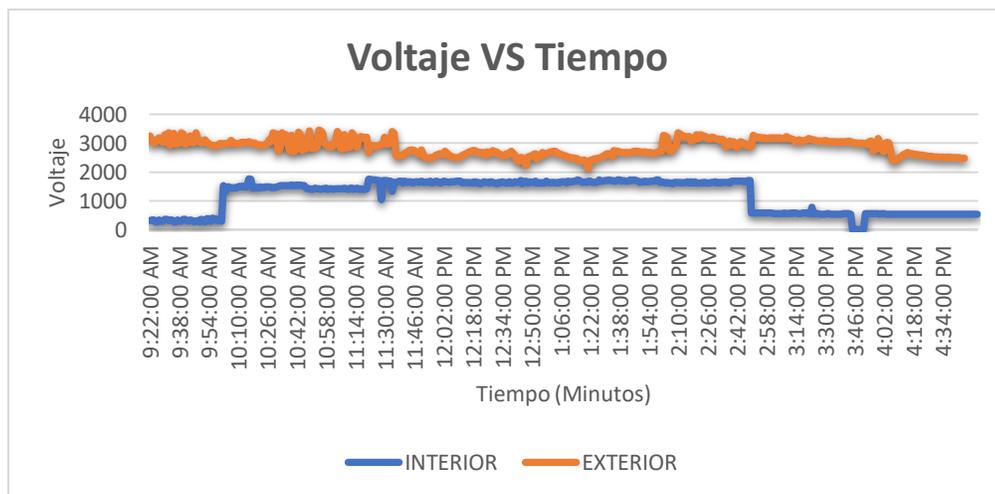


Gráfica 12. Luz naranja vs Tiempo en los dos ambientes.  
Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 13. Luz roja vs Tiempo en los dos ambientes.  
Fuente: Elaboración propia.

A partir de las Gráficas de los espectros visibles anteriores, se concluye en general que en ambiente interior se mantiene el registro de datos por la condición lumínica a la que fue expuesto el dispositivo. Lo contrario ocurre en el ambiente exterior, pues se nota una reducción en el registro de datos consecuencia de sombras cubriendo el sensor de luminosidad; dichas sombras ocasionadas por el cableado de los postes, que, por la rotación del sol, incidieron en la toma de datos, por un periodo de tiempo en el sensor.



Gráfica 14. Voltaje vs Tiempo en los dos ambientes.  
Fuente: Elaboración propia.

Las pruebas realizadas para cuantificar el voltaje generado en los dos tipos de ambientes se realizaron mediante el uso de voltaje de circuito abierto, porque es un dispositivo a pequeña escala y no se corre el riesgo de tener incidentes con corrientes circulando en el circuito. Nuestro objetivo, fue realizar el diseño para tomar datos y analizar las afectaciones de las variables del ambiente en la generación de energía, ver Grafica 14.

En la Gráfica 14, se observar que en el ambiente exterior se reduce la generación de voltaje en el mismo lapso en el que el sensor de espectro visible se vio afectado por nubosidad y/o sombra, lo que indica una gran necesidad en que el dispositivo se le garantice una ubicación por encima de obstáculos que impidan el paso de la radiación. Mientras que en el ambiente interior se evidencia una clara reducción y aumento dependiendo de la iluminación proyectada sobre el dispositivo, afectando la generación notablemente.

## **7. CONCLUSIONES**

En el presente trabajo se muestra el diseño y construcción de un dispositivo IoT destinado a la identificación de las variables ambientales que afectan la generación de energía eléctrica en sistemas solares fotovoltaicos.

Este dispositivo desarrollado presenta ventajas en comparación con otros dispositivos disponibles en el mercado debido a su fácil construcción y economía porque sus componentes son comerciales y fáciles de conseguir. Además, permite medir diferentes variables ambientales como: temperatura, presión, humedad, luminosidad, material particulado como los diferentes espectros de luz visibles.

Los datos adquiridos mediante el dispositivo IoT desarrollados son de suma importancia porque permite cuantificar la cantidad de energía generada en función de las variables antes mencionadas permitiendo mejorar la selección o diseño de sistemas solares fotovoltaicos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo de grado hace parte del proyecto de semillero "Diseño y construcción de dispositivo IoT (Internet de las Cosas, por sus siglas en inglés) para medición de las variables que intervienen en la generación de energía para las instalaciones fotovoltaicas de la Institución Universitaria Pascual Bravo." con código SM202027 del Semillero de Investigación Ambiental - SIA en el marco del convenio 723 DE 2021 Sapiencia.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Amazonaws. (2009). *Amazonaws.com*. Recuperado el 4 de enero de 2017, de <http://spain-s3-mhe-prod.s3-website-eu-west-1.amazonaws.com/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>
- Americafotovoltaica. (2015). Obtenido de <http://www.laguiasolar.com/energia-solar-en-colombia/>
- Balleteros, B. (2016). Panorama mundial de las energías renovables e importancia de la energía fotovoltaica. *Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas*, 10.
- Baron, C. (2021). *Statista (Germany)*. Obtenido de <https://es.statista.com/estadisticas/634503/capacidad-de-las-plantas-de-energia-solar-fotovoltaica-lideres-a-nivel-mundial/>
- bismark. (27 de Septiembre de 2018). Obtenido de <https://bismark.net.co/tipos-de-sensores-para-iot/>
- BYTHEWAY. (s.f.). *Mercadolibre*. Obtenido de [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-608149305-sensor-dht11-de-humedad-y-temperatura-con-led-indicador-\\_JM?matt\\_tool=42035816&matt\\_word=&matt\\_source=google&matt\\_campaign\\_id=14634237770&matt\\_ad\\_group\\_id=122266243170&matt\\_match\\_type=&matt\\_network=g&matt](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-608149305-sensor-dht11-de-humedad-y-temperatura-con-led-indicador-_JM?matt_tool=42035816&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14634237770&matt_ad_group_id=122266243170&matt_match_type=&matt_network=g&matt)
- Cabrera, R. G. (2017). *Universidad de Guacato*. Obtenido de [http://mctp.mx/pdf/optics\\_and\\_energy/day5/Celdas%20solares.pdf](http://mctp.mx/pdf/optics_and_energy/day5/Celdas%20solares.pdf)
- Canarias, G. d. (2010). Recuperado el 12 de enero de 2017, de [http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307\\_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf)
- Cano, X. B. (2009). El sol, nuestra estrella. *Revista Digital Universitaria*, 16.
- Electrotecnica. (2014). Obtenido de <https://sites.google.com/site/electrotecniaaldia2014b/energia-solar>
- Esguerra, D. N. (Noviembre de 2017). <https://repository.usta.edu.co/>. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10724/2018Angulodavid.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Frost, R., & Euronews. (25 de Agosto de 2021). *Euronews*. Obtenido de <https://es.euronews.com/green/2021/08/25/el-fin-de-los-combustibles-fosiles-que-paises-han-prohibido-su-exploracion-y-extraccion>
- Gahona, R., & Cabezas, A. (Marzo de 2020). <https://dspace.ups.edu.ec/>. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18755/4/UPS%20-%20ST004528.pdf>



UNIT. (2022). *UNIT Electronics*. Obtenido de <https://uelectronics.com/producto/modulo-sensor-de-voltaje-0-25v-dc/>

Wikipedia. (5 de Abril de 2022). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Led>